

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra mechanické technologie

Studium povrchu kovových materiálů typu Atmosfix exponovaných
v náročném korozním prostředí

Study of Surface Metal Materials of Type Atmosfix Exposed in
Exacting Corrosive Environment

Student:

Bc. Petr Šrubař

Vedoucí diplomové práce:

doc. Ing. Jitka Podjuklová, CSc.

Ostrava 2010

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě 21.5.2010.....


.....
Pekár

podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou (bakalářskou) práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě : 21.5.2010



podpis

Jméno a příjmení autora práce:

Bc. Petr Šrubař

Adresa trvalého pobytu autora práce:

5. května 909 Frýdlant nad Ostravicí

ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

ŠRUBAŘ, P. *Studium povrchu kovových materiálů typu Atmofix exponovaných v náročném korozním prostředí: diplomová práce*. Ostrava : VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra mechanické technologie, 2010, 81 s. Vedoucí práce: Podjuklová, J.

Diplomová práce se zabývá studiem povrchu kovových materiálů typu Atmofix exponovaných v náročném korozním prostředí. V úvodu práce jsou popsány vlastnosti oceli typu Atmofix, vhodnost použití této oceli v náročném korozním prostředí a vlastnosti posypových solí používaných na dopravních komunikacích v ČR. Experimentální část práce je zaměřena na studium změny korozní odolnosti čtyř nátěrových hmot vystavených v náročném korozním prostředí ve stanoveném časovém intervalu a jejich přilnavosti k povrchu oceli typu Atmofix. Výsledky jsou zpracovány do tabulek a následně vyhodnoceny ve formě grafů. Zjištěné výsledky jsou mezi sebou porovnány a vyhodnoceny.

ANNOTATION OF MASTER THESIS

ŠRUBAŘ, P. *Study of Surface Metal Materials of Type Atmofix Exposed in Exacting Corrosive Environment: Master Thesis*. Ostrava : VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Mechanical Technology, 2010, 81 p. Thesis head: Podjuklová, J.

This thesis deals with studying the surface of metal materials of type Atmofix exposed in exacting corrosive environment. The introduction describes the properties of Atmofix steel, the suitability of this steel in harsh environments and corrosive properties of thawing salt used to treat icy roads in the country. The experimental part is focused on studying changes in the corrosion resistance of the four coatings exposed to strong corrosive environments within a specified time and their adhesion to the surface of the Atmofix steel. The results are processed into tables and then evaluated in the form of graphs. Observed results were compared and evaluated.

OBSAH

	strana
SEZNAM POUŽITÝCH ZNAČEK A SYMBOLŮ	3
0 ÚVOD	4
1 VLASTNOSTI OCELI TYPU ATMOFIX	6
1.1 Vlastnosti oceli Atmofix	6
1.2 Korozní vrstvy (patiny) oceli Atmofix	7
1.3 Ochranná funkce oceli Atmofix	9
1.3.1 Mikrolegované termomechanické válcované oceli	12
1.3.2 Nízkouhlíkové bainitické oceli.....	12
2 OCELI TYPU ATMOFIX V NÁROČNÉM KOROZNÍM PROSTŘEDÍ	13
2.1 Systémy hodnocení patiny v praxi	15
2.2 Výsledky stavu konstrukcí z patinující oceli	18
3 VLIV SOLI A SOLÍCÍCH ROZTOKŮ NA POVRCH MATERIÁLŮ	20
3.1. Vlastnosti chemických rozmrazovacích látek	22
3.2.1. Chlorid sodný (NaCl)	23
3.2.2. Chlorid vápenatý (CaCl ₂)	23
3.2.3. Chlorid hořečnatý (MgCl ₂)	24
3.2.4. Močovina (CO(NH ₂) ₂)	24
3.2.5. Alkoholy a glykoly	24
3.2.6 CMA (Calcium Magnesium Acetate)	24
4 KLASIFIKACE KOROZNÍHO PROSTŘEDÍ	25
5 NÁVRH EXPERIMENTÁLNÍCH PRACÍ	27
6 POPIS EXPERIMENTÁLNÍCH PRACÍ	28
6.1 Příprava vzorků	28
6.2 Přiřazení jednotlivých vzorků	28
6.3 Hodnocení povrchu podkladových materiálů	29
6.3.1 Hodnocení povrchu ocelového vzorku COR-TEN A	29
6.3.2 Hodnocení povrchu ocelového vzorku COR-TEN B	30
6.3.3 Hodnocení povrchu ocelového plechu typu Atmofix expo. 24 let	32
6.4. Hodnocení složení posypové soli	37
6.5 Prašnost povrchu vzorků dle ČSN ISO 8502-3	38
6.6 Měření drsnosti povrchu vzorků dle ČSN EN ISO 4287	39

6.7 Způsob nanášení nátěrů a kontrola tloušťky filmu dle ČSN EN ISO 2808 ...	42
6.7.1 Vytvrzování nátěru	43
6.7.2 Kontrola tloušťky suchého filmu dle ČSN EN ISO 2808	43
6.8 Korozní zkouška v solné mlze dle ČSN ISO 9227	46
6.9 Atmosférická zkouška s postřikem solného roztoku dle ISO 11474	47
6.10 Mřížková zkouška dle ČSN EN ISO 16276 – 2	47
6.11 Odtrhová zkouška dle ČSN EN ISO 16 276 – 1	50
6.12 Hodnocení puchýřkování povrchu dle ČSN EN ISO 4628-2	57
6.13 Zkouška řezem dle ČSN EN ISO 4628-8	58
6.14 Mikrovýbrus vzorků	59
7 HODNOCENÍ EXPERIMENTÁLNÍCH ZKOUŠEK	62
7.1 Hodnocení povrchu materiálu	62
7.2 Hodnocení nátěrů	65
7.2.1 Hodnocení odtrhové pevnosti barev	65
7.2.2 Hodnocení mřížkové zkoušky	68
7.2.3 Hodnocení puchýřkování povrchu nátěrových systémů	70
7.2.4 Hodnocení zkoušky řezem	73
7.3. Zhodnocení	74
8 ZÁVĚR	76
LITERATURA	79
SEZNAM PŘÍLOH	81

SEZNAM POUŽITÝCH ZNAČEK A SYMBOLŮ

<i>ZNAK</i>	<i>VELIČINA</i>	<i>JEDNOTKA</i>
ČSN	Česká státní norma	-
EN	Evropská norma	-
ISO	Mezinárodní norma	-
Al	hliník	-
C	uhlík	-
Cr	chrom	-
Cu	měď	-
Mo	molybden	-
Nb	niob	-
Ni	nikl	-
P	fosfor	-
Fe	železo	-
Si	křemík	-
V	vanad	-
Zn	zinek	-
SO ₂	oxid siřičitý	-
FeSO ₄	síran železitý	-
Rp _{0,2}	smluvní mez kluzu	MPa
A ₅	tažnost	%
T	teplota v laboratoři	°C
At	atomární hmotnost	%
Wt	objemová hmotnost	%
RVHP	rada vzájemné hospodářské pomoci	-
SVÚOM	státní výzkumný ústav ochrany materiálu	-

1 ÚVOD

Tématem předkládané diplomové práce je studium povrchu oceli Atmofix exponovaných v náročném korozním prostředí. Téma diplomové práce jsem zvolil záměrně, neboť neustálé dochází ke změnám životního prostředí, které vedou ke zvyšování salinity na dopravních komunikacích a tím ke vzrůstu agresivity koroze na kovové i nekovové materiály. V posledních letech dochází ke snižování škodlivin typu SO_2 , které následně způsobují nižší a nepravidelnou tvorbu korozního ochranného povlaku právě u ocelí Atmofix.

Od počátku let, kdy lidstvo vytvořilo první ocel, se snažíme snižovat náklady na materiál, chránit tento materiál a upravovat ho, abychom dosáhli nejlepšího konečného výsledku. V současnosti, kdy ekonomický trh je postižen ekonomickou recesí je nutné snižovat náklady, aniž by nedocházelo ke ztrátě optimální funkčnosti konstrukcí. Na materiál mají přednostní vliv vlastnosti korozního prostředí, teplota korozního prostředí a typ zvoleného povrchového materiálu nebo opracování. Každý materiál podléhá korozi. Některé mají vyšší korozní odolnost, některé nižší. Pro ochranu materiálů se používají nejrůznější izolace, nástřiky a různá pokovování, které následně vyžadují údržbu. Avšak všechny prostředky vynaložené na ochranu základního materiálu zvyšují celkovou cenu. Za tímto účelem byly vytvořeny oceli typu Atmofix a Cor-ten, abychom zamezili finančním ztrátám při běžné údržbě povrchu oceli.

Vytvořením oceli Atmofix jsme se částečně zbavili údržby, ale každý typ materiálu vyžaduje alespoň minimální údržbu. Vlivem změn atmosférického prostředí (především snižování jednotlivých druhů škodlivin), dochází k nepravidelnému vytváření korozního ochranného povlaku. Tam, kde nedochází ke vzniku těchto ochranných zplodin, je zapotřebí tyto plochy patřičně ošetřit a chránit.

Jednou z možností je použití nátěrových hmot. Dnešní nátěrové hmoty mají vysokou kvalitu odolnosti vůči vnějším vlivům. Nátěrové hmoty musejí být nejen vysoce odolné proti koroznímu prostředí, ale musejí být zároveň nezávadné.

V zimních obdobích, kdy jsou materiály vystaveny nejvyššímu koroznímu namáhání, jsou na ostravských silnicích využívány posypové a chemické materiály, které spolu s nežádoucími nečistotami způsobují další degradující účinky. Chemické materiály jako chlorid sodný a chlorid vápenatý svými vysokými koncentracemi od 15 do 20 % zintenzivňují korozní procesy.

Cílem diplomové práce je vytvoření poznatků týkající se ocelí Atmofix a Cor-ten. Posoudit a porovnat vybrané nátěrové hmoty s nejvyšší korozivní ochranou a určit, zda vybrané nátěrové hmoty jsou vhodným řešením problematiky ochrany materiálu Atmofix a Cor-ten.

Práce je rozdělena do dvou částí. První, teoretická, část práce se zabývá ocelí Atmofix, její vlastností, tvorbou ochranných vrstev, funkcí vzniklých vrstev, vlivem solí a solících prostředků, které způsobují nemalé poškození u tohoto typu oceli. Druhá, experimentální, část práce se zabývá zkoušením čtyř typů nátěrových systémů, které byly zvoleny pro ochranu oceli Atmofix a Cor-ten. V této části jsou fotograficky zdokumentovány jednotlivé základní materiály a uvedeny dosavadní výsledky zkušných nátěrových systémů, které byly aplikovány na různé typy patinujících ocelí. Povrch podkladových materiálů byl prostudován s následným provedením zkoušek nátěrových systémů na referenčních. Zkoušené nátěry jsou doporučovány k ochranně venkovních ocelových konstrukcí.

1 VLASTNOSTI OCELI TYPU ATMOFIX

Oceli typu Atmofix jsou v současné době na stavbách v České republice navrhovány, vyráběny a využívány pro stavbu pozemních komunikací z ocelových mostních konstrukcí z konstrukční oceli se zvýšenou odolností proti korozi. V České republice nastává návrat k používání těchto ocelí pro ocelové mostní konstrukce pozemních komunikací. Pro výrobu se používá ocel dle normy ČSN EN 10025-5, avšak výrobce nezaručuje vytvoření ochranné vrstvy patiny.

Materiály typu Atmofix se vyznačují zvýšenou odolností proti atmosférické korozi. Tyto oceli mají schopnost vytvářet za určitých atmosférických podmínek souvislou ochrannou vrstvu oxidů tzv. patinu. Vzniklá patina významně zpomaluje rychlost korozních pochodů. První patinující oceli byly patentovány a uvedeny v roce 1933 v USA pod obchodním názvem Cor-ten. Cílem jejich vývoje bylo především dosažení významných úspor na provedení a údržbu protikorozní ochrany ocelových konstrukcí zejména u železničních vagónů a kontejnerů. Výrobce oceli US steel uváděl, že vzniklá ochranná vrstva snižuje rychlost působení atmosférické koroze v porovnání s běžnou ocelí bez protikorozní ochrany avšak později se prokázalo, že pro vznik souvislé korozní vrstvy je zapotřebí splnit další podmínky včetně konstrukčních úprav ocelových konstrukcí.

Po roce 1968 byly v ČSSR vyvinuty oceli s označením Atmofix, které jsou svými vlastnostmi srovnatelné s ocelmi typu Cor-ten. Oceli Atmofix v ČR byly využity pro velkou řadu nosných ocelových konstrukcí a to i v architektuře. Nejrozšířenější použití u nás, je na mostních konstrukcích a stožárech pro vedení vysokého napětí. V řadě národních i mezinárodních směrnicích je doporučováno konstrukční řešení objektů z patinujících nízkolegovaných ocelí. V ČR jsou pro silniční a železniční komunikace používány oceli typu Atmofix jakosti S235W(P) a S355W(P) (dle normy ČSN EN 10025-5) s poměrně dobrou korozní odolností. V osmdesátých letech minulého století byly oceli typu Atmofix A a Atmofix B používány jako ocelové plechy a válcované profily pro výrobu svodidel, stožárů vedení vysokého napětí, mostů a konstrukce pro transformátorovny a rozvodny.

1.1 Vlastnosti oceli Atmofix

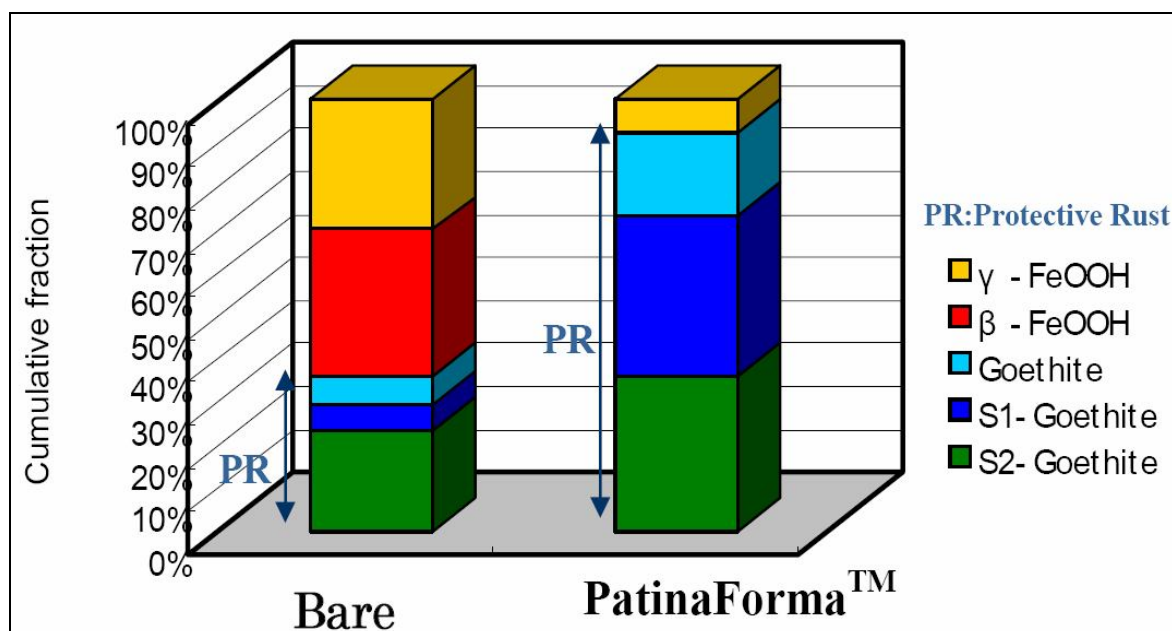
Atmofix oceli jsou nízkolegované oceli s nízkým obsahem legujících prvků Cr, Cu, Ni, a P, případně dalších legujících prvků (Mo). Obsah legujících prvků se u těchto typů

ocelí pohybuje běžně do 2%. V některých případech u nově vyvíjených typů patinujících ocelí se obsah legujících prvků může pohybovat až přes 3% (např. u japonských ocelí se obsah Ni pohybuje kolem 3%). Pro oceli typu Atmosfix je důležitá vyváženost jednotlivých legujících prvků a to kombinace Cu-P-Cr. Její jakost je určena normou ČSN EN 10025-5. Běžná mikrostruktura těchto patinujících ocelí je feriticko-perlitická s mezi kluzu dosahující hodnoty cca $R_{p0,2} = 400\text{MPa}$ tažností $A_5 = 30\%$. Ochranná funkce korozních vrstev patinujících ocelí souvisí především s jejich chemickým složením. Legující prvky jako Cu, P, Cr, Ni, Mo, V, Nb a Ti zvyšují u oceli ochranné vlastnosti. Uvedené pořadí prvků udává danou míru účinnosti ochrany proti korozi. Při atmosférickém vystavení tyto legující prvky vážou ionty SO_4^{2-} ze vzduchu do nerozpustných sulfátů v širokém rozmezí hodnot pH. V kyselém prostředí jsou to sulfáty chromu a mědi, v neutrálním prostředí to jsou sulfáty niklu. Na rozdíl od atmosférické koroze nízkouhlíkových ocelí, kde vznikají sulfátová hnízda FeSO_4 , jsou sulfáty v korozních zplodinách jakostních legovaných ocelí typu Cor-ten inertizované vazbou do nerozpustné formy. Poměr obsahu sulfátových iontů vzniklých z atmosféry k obsahu inertizujících legur v oceli určuje využití v agresivních atmosférách. Funkce fosforu souvisí s předpokládanou bariérovou schopností fosfátů. Schopnost vytvářet korozi u těchto ocelí při atmosférickém vystavení je spojená s přechodem kationtů železa a dalších legujících prvků do korozní vrstvy. Její legovatelnost je oproti oceli vyšší. Zkušenosti prokazují, že typické obohacování korozních produktů vzniká při dlouhodobé expozici v průběhu 3 až 5 let.

Ochranná vrstva (patina), tvoří vysoce přilnavou, omezeně propustnou vrstvu. Vrstva není zcela nepropustná vůči průniku atmosférického prostředí a nejedná se o pasivní ochranu povrchové vrstvy kovu. Základní vlastností patiny je vyšší pevnost, nižší poréznost, více amorfních podílů látek, místní nahromadění sloučenin legujících prvků a snížení vlivu korozně stimulujících látek jako je oxid siřičitý. Rychlost koroze je v počátečních fázích stejně rychlá jako u běžných nelegovaných ocelí. Vyšší odolnost se projeví až po delší době. Kompaktní vrstva patiny s ustálenými vlastnostmi se vytváří po dobu 3 až 5 let. Tloušťka vrstvy patiny dosahuje max. 200 μm , průměrná tloušťka je cca 100 μm . Struktura, barva (bývá nelesklá tmavěhnědého vzhledu) i ochranné vlastnosti patiny závisí na korozních vlastnostech prostředí a konstrukčním uspořádání.

1.2 Korozní vrstvy (patiny) oceli Atmofix

Patina se skládá z několika složek. Složení vrstvy patiny se mění v závislosti na podmínkách expozice a době, po kterou je ocel Atmofix vystavena atmosférickým podmínkám. Každá vrstva má odlišné mechanické vlastnosti. Aktivní vrstva patiny se vytváří po dobu méně než 2 let. Složení vrstvy patiny se mění v závislosti na době expozice a na atmosférických podmínkách, kterým je patinující ocel vystavena. Hlavní složky korozních produktů oceli Atmofix jsou goethit α -FeOOH (nejstabilnější fáze), akaganeit β -FeOOH, lepidokrokit γ -FeOOH, magnetit Fe_3O_4 a další amorfní a nestechiometrické sloučeniny. Korozní sloučeniny se vyskytují v krystalické i částečně v amorfní fázi. Fáze mohou podléhat transformačním změnám a složení patiny se může měnit v závislosti na tloušťce vrstvy. Goethit α -FeOOH přispívá k ochranným vlastnostem povrchové vrstvy, protože je více stabilní. Pokud je přítomen ve formě malých částic, zabráňuje pronikání vody, kyslíku a chloridových iontů do spodních vrstev rzi a tím i k povrchu oceli. Další fáze akaganeit β -FeOOH se vyskytuje v prostředí, které je vystaveno vlivu chloridů. Lepidokrokit γ -FeOOH je nestabilní sloučenina, která podléhá transformačním změnám na magnetit nebo maghemit γ -Fe $_2$ O $_3$ v prostředí obsahující kyslík.



Obr. 1.1 Složení oxidů železa po 2 letech expozice (obsah nanesené soli 100 mg/m) [10]

Při porovnání poměru jednotlivých vzniklých sloučenin ve vrstvě patiny byl nadefinován index PAI (Protective Ability Index), který je kvantitativním kritériem ochranné účinnosti patiny. PAI index se stanoví jako α/γ^* a $(\beta+s)/\gamma^*$. Symboly α , β a γ

stanoví jednotlivé hmotnostní koncentrace fází α -FeOOH, β -FeOOH, γ -FeOOH a s je hmotnostní koncentrace spinelové fáze (většinou magnetitu). Symbol γ^* se stanoví podle vztahu $\gamma^* = \gamma + \beta + s$. Poměr $\alpha/\gamma^* > 1$ je kritériem ochranné schopnosti vrstvy rzi, $\beta+s)/\gamma^* < 0,5$ nebo $> 0,5$ hodnotí korozní rychlost nechráněné vrstvy rzi. Při poměru $\alpha/\gamma^* > 1$ je dle různých autorů ochranná vrstva rzi u patinujících ocelí funkční. Pokud je poměr $\alpha/\gamma^* < 1$, je potom třeba vypočítat $\beta+s)/\gamma^*$. Je-li hodnota $> 0,5$, pak se korozní rychlost zvyšuje. V těchto výpočtech se neuvažuje vliv hematitu a není zde také definován výpočet koncentrací jednotlivých fází.



Obr. 1.2 Výbrus průřezu vrstvy patiny vzorku po 8 letech (průmyslové prostředí) [4]



Obr. 1.3 Výbrus průřezu vrstvy patiny vystaveného po 20 letech (městské prostředí) [4]

1.3 Ochranná funkce oceli Atmosix

Vrstva patiny se vyznačuje tmavě hnědým zabarvením s přechodem do fialova, uzavřeným, kompaktním vzhledem povrchové vrstvy s jemnou makrostrukturou. Na obrázcích 1.4 a 1.5 je zobrazen povrch oceli Atmosix po 25 letech expozice. Částice jsou pevně ukotveny ve vrstvě. Vrstvy vznikající v zastíněných polohách mají z hlediska

stavby vrstvy odlišný charakter. Vykazují vyšší podíl uvolněných částic. Při dobrém odvětrávání mají tyto vrstvy poměrně vysokou ochrannou účinnost.

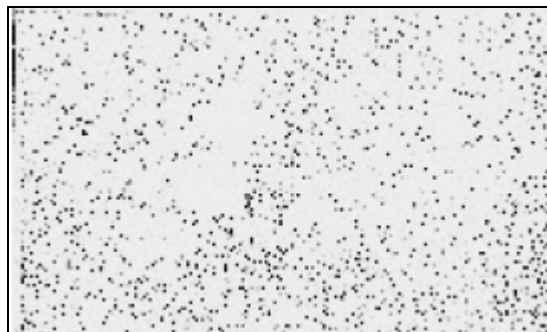


Obr. 1.4 Vzhled povrchu Atmofix po 25 letech expozice – fialový vzhled [11]



Obr. 1.5 Vzhled povrchu Atmofix po 25 letech expozice – tmavohnědý vzhled [11]

Významnou charakteristikou chemických vrstev rzi jsou obsahy stimulatorů koroze jako jsou sírany a chloridy, případně určení umístění stimulatorů do síranových či chloridových hnízd na rozhraní vrstvy rzi a základního kovu. Firma SVÚOM prokázala, že síranová hnízda ve rzi na patinujících ocelích při venkovní expozici postupně odeznívají, zřejmě z důvodu porušení stability membrány, která je uzavírá, což přispívá ke snížení korozní rychlosti.



Obr. 1.6 Síranová místa – expozice pod přístřeškem [7]

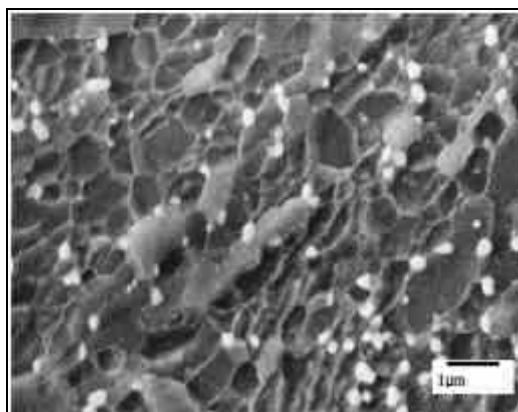
Ochranná účinnost vzniklých vrstev oxidů závisí především na jejich schopnosti bránit průniku agresivních složek vrstvou a snižovat významně korozní rychlost. U běžných atmosférických podmínek (korozní agresivita prostředí stupně C3) se v průběhu 3-4 let expozice sníží korozní rychlost patinujících ocelí na hodnoty $5-7 \mu\text{m} \cdot \text{r}^{-1}$ na rozdíl u běžných konstrukčních uhlíkových ocelí, kdy se sníží na hodnotu $25-30 \mu\text{m} \cdot \text{r}^{-1}$. Pro vznik ochranné vrstvy je zapotřebí cyklického střídání doby odvlhčení s dobou vysušení povrchu. Na trvale vlhkých místech nedochází k vytváření vrstvy patiny. V místech s nevhodným konstrukčním uspořádáním se naopak může korozní proces zvýšit (např. pod vrstvou nahromaděných korozních produktů a nečistot).

Ve vnějších atmosférických podmínkách ČR se ochranné vrstvy rzi na patinujících ocelích tvoří. Dlouhodobými atmosférickými zkouškami na různých objektech v ČR byl tento fakt prokázán. Ve vnitřních mikroklimatech se přednosti nízkolegovaných ocelí příliš neuplatňují. V provětrávaných zastřešených místech se na površích s alespoň omezeným střídáním ovlhčování s vysušováním tvoří korozní vrstva, která je částečně ochranná. Avšak vzhledově je odlišná od korozní vrstvy patinujících ocelí, které byly vystaveny působení vnějších atmosférických podmínek.

Současný vývoj patinujících ocelí směřuje několika směry. Před několika lety vzniklo nové pojetí patinujících ocelí se zvýšeným obsahem Ni (až do 3% Ni). Nikl v oceli zvýšil cenu vyráběné oceli a také zkomplikoval její recyklaci. Proto se od této koncepce postupně upustilo. Z analýzy termodynamické stability různých typů korozi bylo zjištěno, že v metalurgii běžné prvky jako Si a Al vytvářejí stabilní komplexní oxidy s železem. Na rozdíl od niklu, křemík a hliník neznemožňují recyklaci oceli. Zásadním světovým vývojem ocelí se zvýšenou odolností proti atmosférické korozi jsou mikrolegované termomechanicky válcované oceli s feriticko-perlitickou strukturou a nízko uhlíkové bainitické oceli.

1.3.1 Mikrolegované termomechanické válcované patinující oceli

Jedná se o nízkouhlíkové oceli s feritickou-perlitickou strukturou. U mikrolegovaných termomechanicky válcovaných ocelí je vlivem chemického složení silně omezena tvorba perlitické fáze. Struktura těchto ocelí je jemnozrnná, díky tomuto mají oceli vyšší mechanické vlastnosti. Na obr. 1.7 je zobrazena mikrostruktura oceli s obsahem Si a Al.

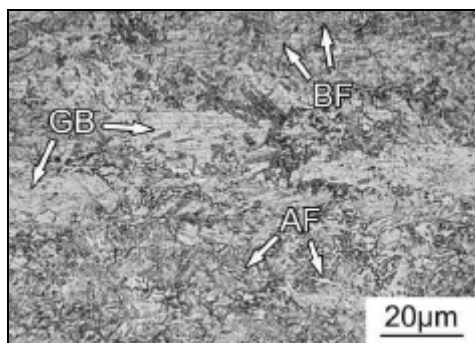


Obr. 1.7 Mikrostruktura mikrolegované oceli [9]

Prostřednictvím tuhého roztoku Si a Al došlo ke zpevnění oceli. Obecně ocel s obsahem prvku Si a Al vykazuje nižší tažnost než oceli s Si-Mn. V tomto oceli vykazovala mimořádně vysokou tažnost.

1.3.2 Nízkouhlíkové bainitické patinující oceli

Nízkouhlíkové bainitické oceli vykazují vyšší pevnost v důsledku bainitické mikrostruktury narozdíl od klasické feriticko-perlitických patinujících ocelí. Daná ocel je velmi dobře svařitelná z důvodu nízkého obsahu uhlíku. Takto koncipovaná ocel nesplňuje chemické složení, která stanovuje norma ČSN EN 10025-5. Na obr. č. 1.8 je vyobrazena mikrostruktura oceli s obsahem 0,05%C (GF – globulární bainit, BF – bainitický ferit a AF – acikulární ferit).



Obr. 1.8 Mikrostruktura vysokopevnostních patinujících ocelí [9]

2 OCELI TYPU ATMOFIX V NÁROČNÉM KOROZNÍM PROSTŘEDÍ

Vyhodnocením koroze patinujících ocelí se málo který korozní výzkum zabýval. Tuto problematiku sledoval pouze dílčí výzkum realizovaný Technickou univerzitou Košice pod vedením Doc. Ing. Ševčíkové CSc. po dobu 30 let, se zaměřením na vyhodnocení degradace mechanických vlastností těchto ocelí. V současné době jsou publikovány doporučující materiály pro užití patinujících ocelí (např. Mosty z patinující oceli Atmofix na dálnici D47 v Ostravě). Tento materiál neobsahuje měření korozních úbytků, měření skutečného oslabení ocelových konstrukcí nebo rozbor ochranné vrstvy. V České republice se prováděl výzkum na malých vzorcích oceli se zaměřením na korozi kovů vlivem venkovní atmosféry firmou SVUOM. Jednotlivé výsledky byly posuzovány na vzorcích tloušťky 1 až 2 mm, ale u těchto vzorků nebyl brán v potaz tvar, namáhání konstrukce, ovlivnění výrobou oceli, vliv posypových solí nebo údržbou konstrukcí.

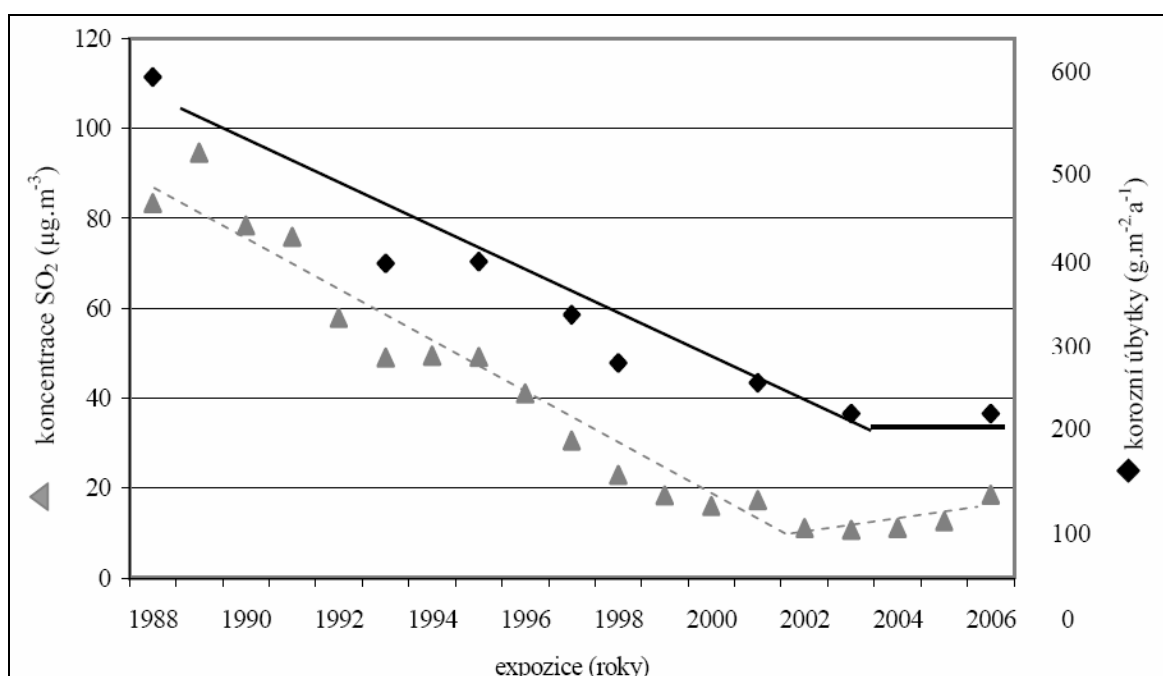
Z výsledků zahraničních výzkumů USA a Japonska jsou známy výsledky za více jak 30 let. Sledován byl především vliv posypových solí. V České republice se používá zejména solný roztok NaCl o koncentraci 18-21% a v menším měřítku solný roztok CaCl_2 o koncentraci 18-21% (viz o typech a použití posypových solích se budu zabývat v kapitole 3).

Pro životnost ocelových konstrukcí vyrobených z patinujících ocelí je nutné znát požadavky na údržbu. Údržba konstrukcí se musí provádět minimálně do doby vytvoření ochranné vrstvy oceli (patiny). V České republice se tento požadavek u používání patinujících ocelí nebyl nikdy zpracován. Bylo pouze zdůrazňováno, že tento typ oceli nevyžaduje údržbu. Zdůvodnění použití této oceli byly poukazovány na významné finanční úspory, vzniklé zrušením údržby.

V ČR se uskutečnilo několik výzkumů zabývajících se tvorbou ochranné vrstvy patinujících ocelí. Jednalo se především o dlouhodobé vystavení vzorků při venkovních atmosférických podmínkách, ale i pod přístřeškem. U těchto vzorků se sledoval vliv typu atmosféry, způsob expozice a vliv složení oceli. Zkoušky byly prováděny jako srovnání s exponovanou konstrukční ocelí. Vzorky byly vystaveny především pod přístřeškem a sledoval se vliv zakrytosti. Zakrytost vzorků má velký vliv na vznik povrchové vrstvy – patiny. Uskutečnilo se přes 8 různě prováděných zkušebních programů. V letech 1987 až 1995 byla ocel Atmofix zkoušena i na síti 38 stanic v celoevropském měřítku.

Realizovaly se také 3 až 5 leté korozní zkoušky ve více jak 50 specifických mikroklimatech s cílem určení mezních podmínek pro nasazení těchto ocelí. U české patinující oceli Atmosfix 52A byly provedeny desetileté zkoušky na 3 typových atmosférických zkušebních stanicích v období 1968 až 1978. V tomto období ještě nedošlo k poklesu koncentrací znečištění SO_2 v ovzduší.

V současné době došlo k významnému poklesu koncentrací SO_2 , což se projevilo i v dosahovaných korozních rychlostech. U exponovaných vzorků na stanicích Praha-Letňany a Hurbanovo mezi 3. a 5. rokem expozice se zaznamenal pokles rychlosti tvorby ochranné vrstvy. Tento trend se potvrdil i u vzorků vystavených v Ústí nad Labem, avšak tady nebyl pokles tvorby rzi tak výrazný. Výsledky těchto zkoušek lze považovat za potvrzení schopnosti tvořit ochrannou vrstvu spíše za extrémních podmínek. Pokles znečištění SO_2 byl sledován za první rok vystavení vzorků pro Kopisty (doba sledování 1988-2006 viz obr. 2.1).



Obr. 2.1 Pokles znečištění ovzduší SO_2 a počáteční korozní rychlost uhlíkové oceli [7]

Na vzorcích, které byly vystaveny pod přístřešky docházelo k nahromadění nečistot. Na konečný korozní efekt mělo vliv znečištění, doba ovlhčení a periodické vysychání. Vliv stupně zakrytosti vystavených ploch dokládají výsledky 12-ti leté korozní zkoušky (v letech 1974 až 1986) u oceli Atmosfix 52A a uhlíkové oceli na stanicích Zvenigorod, Praha-Letňany a Murmansk. Výsledky potvrdily zvýšený vznik korozní vrstvy u vzorků vystavených na volné atmosféře. Potvrdilo se také, že vliv nahromadění znečištění, za příznivých atmosférických podmínek postupně urychlilo korozní proces.

Zkoušky u oceli Atmosfix 52A prováděné v celoevropském měřítku na 39 stanic v letech 1987 až 1995 pomohly pochopit korozní vlastnosti české patinující oceli v regionálním měřítku. Stanovily se korozní rychlosti vzniku vrstvy v relativně teplých klimatech (Toledo), v průmyslové atmosféře s přímořským vlivem (Borregaard) i ve vlhkém příměstském prostředí (Lincoln). Všechny zkoušky se prováděly již za snižujících úrovních znečištění SO_2 . Výsledky prokázaly také i významné spolupůsobení ovlhčení povrchů a znečištění. Dešťové srážky ovlhčují povrch oceli, ale zároveň odstraňují do určité míry nahromaděné znečištění. Rozdíly v úhrnu dešťových srážek mezi uvedenými stanicemi byly značné (od 300mm až po téměř 1300mm za rok). Korozní zkoušky po dobu deseti let kromě oceli Atmosfix 52A byly prováděny i na ocelích Atmosfix 37, Atmosfix 52B a Atmosfix 60. U všech typů ocelí se prokázala schopnost vytvářet korozní ochrannou vrstvu. Nejvyšší korozní odolnost vykazovala ocel Atmosfix 52A. Výsledky zjištěné u 8leté korozní zkoušky oceli Atmosfix jsou vyobrazeny na obr. 2.2.

Stanice	Koncentrace SO_2 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Doba ovlhčení ^{**} (hod/rok)	Korozní úbytek (μm), průměrná korozní rychlost ($\mu\text{m}/\text{rok}$)			
			volná atmosféra		přístřešek	
Toledo	5,7	1766	18,3	2,3	13,3	1,7
Garmisch-Partenkirchen	5,9	4434	23,1	2,9	26,6	3,3
Madrid	11,7	2022	26,7	3,3	25,3	3,2
Řím	24,5	1759	30,0	3,8	22,2	2,8
Milán	52,8	3289	38,5	4,8	47,4	5,9
Praha	53,3	2970	50,6	6,3	93,9	11,7
Kopisty	67,8	2532	49,8	6,2	170,2	21,3
Helsinky	11,8 [*]	3512	63,2	7,9	59,7	7,5
Bottrop	44,8	3289	42,9	5,4	47,4	5,9
Lincoln	17,6	5814	120,0	15,0	81,9	10,2
Borregaard	34,2 [*]	3448	85,7	10,7	153,3	19,2
Vlaardingen	28,2 [*]	5439	63,3	7,9	70,6	8,8

^{*} Na těchto stanicích byla korozní rychlost ovlivněna i salinitou (chloridy).
^{**} dle ČSN ISO 9223

Obr. 2.2 Korozní 8letá zkouška oceli Atmosfix na vybraných evropských stanicích [7]




Zkoušky provedené na patinujících ocelích byly uskutečněny za zvýšených extrémních podmínek. Výsledky podávají informaci pro možnosti využití patinujících ocelí za specifických podmínek.



2.1 Systémy hodnocení patiny v praxi

Systémy hodnocení jsou založené na posouzení vzhledu vrstev rzi (patiny) s případným doplněním naměřených tloušťek vrstev. V praxi jsou známy 3 druhy hodnotících systémů:

- systém SVÚOM, převzatý v 70. letech doporučený pro země RVHP,
- systém používaný v Japonsku,
- a systém, který je součástí Technických podmínek staveb pozemních komunikací TP197.

Systém používaný firmou SVÚOM je typologický systém hodnocení povrchu patinujících ocelí. Systém hodnotí základní vzhledové, typové vlastnosti a zařazuje je dle stupně charakteristik.

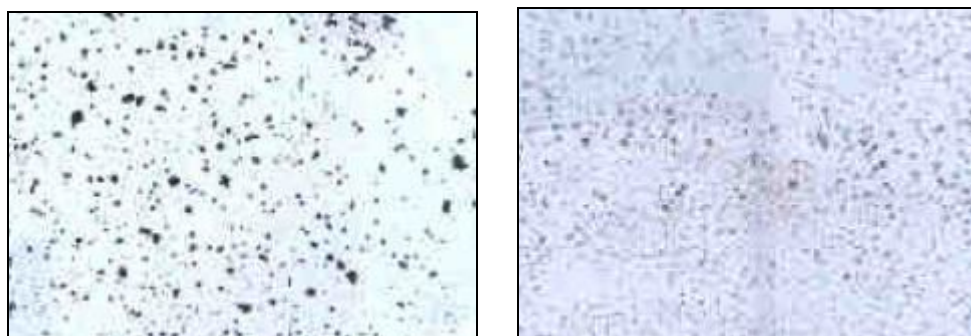
Vzhled povrchu oceli	Klasifikace
	<p>Velmi objemná a odloupávající se vrstva.</p> <p>Tloušťka větší než 800 μm.</p> <p>Korozní úbytek 50 mm / 100let.</p>
	<p>Velikost částic: 5 - 25 mm částečně objemná a odloupávající se vrstva.</p> <p>Tloušťka větší než 400 μm.</p> <p>Korozní úbytek 2,0 mm / 100 let.</p>
	<p>Velikost částic: 1 - 5 mm nerovnoměrná vrstva.</p> <p>Tloušťka menší než 400 μm.</p> <p>Korozní úbytek 0,5 mm / 100 let.</p>

	<p>Velikost částic: jemné přilnavá, rovnoměrná vrstva.</p> <p>Barva: tmavě hnědá, tloušťka menší než 400 μm.</p> <p>Korozní úbytek 0,5 mm /100 let.</p>
	<p>Velikost částic: jemné</p> <p>Barva: světle hnědá</p> <p>Tloušťka menší než 200 μm. Tenká vrstva rzi.</p> <p>Korozní úbytek 0,4 mm / 100 let.</p>

Tab. 2.1 Klasifikační index vizuálního hodnocení vrstvy patiny [4]

Další dva systémy hodnocení se opírají o klasifikace povrchu patiny. Předkládají vhodnost, přípustnost a nepřípustnost vzniku vrstvy patiny podle etalonu (viz tab. 2.1). Japonský systém uvádí typové velikosti částic rzi s tloušťkou vrstev. Umožňuje odhadnout korozní úbytky při dlouhodobé expozici.

Vrstva vzniklé vrstvy rzi (patiny) lze vyhodnotit také podle otisků vrstvy. Po přiložení lepicí pásky na povrchu vzorku a následném nalepení na bílou průhlednou fólii se hodnotí velikost ulpělých částic. Na obr. 2.3 a 2.4 jsou ukázky otisků.



Obr. 2.3 a 2.4 Otisky rzi (patiny) [4]

V následující tabulce č. 2.2 je znázorněn stupeň hodnocení vrstev rzi.

Stupeň	Popis vrstvy patiny
5	Malý objem, relativně světlá
4	Velikost částic menší než 1 mm, jemné částice
3	Velikost částic 1 - 5 mm
2	Velikost částic 5 - 25 mm
1	Vznikající vrstva rzi

Tab. 2.2 Stupeň hodnocení vrstev rzi [4]

2.2 Výsledky stavu konstrukcí z patinující oceli

Informace o úspěšném či neúspěšném použití patinující oceli nám podávají konstrukce, které již několik let jsou vystavené v atmosférickém prostředí. Jde zejména o stožáry elektrických rozvodů, venkovní jeřábové dráhy, stožáry osvětlení, televizní věže, mosty, lávky a architektonická uplatnění a to již od 60. let minulého století.

Stožáry elektrických rozvodů v ČR představují nejrozsáhlejší realizaci patinujících ocelí. V letech 1974 až 1992 bylo vystavěno cca 400 stožárů vedení. Od roku 1976 se hodnotilo korozní chování. V širokém měřítku se uskutečnil průzkum mezi lety 1992 a 2000. Výsledkem bylo zjištění, že patina na povrchu konstrukcí se vytvářela příznivě a to dokonce na odvrácených povětrnostních plochách. K významnému koroznímu poškození docházelo jen na místech vetknutí stojin do betonových patek (docházelo k zadržování vody). Místy docházelo k vzniku šterbinové koroze.

Konstrukce venkovních jeřábových drah z patinujících ocelí byly realizovány ve Vítkovicích v Ostravě. Výsledky byly vesměs pozitivní. Docházelo pouze k nahromadění nečistot v místě spodních přírub nosníků. V těchto místech se nevytvářela patina příznivě.

Příkladem dalšího využití oceli Atmosfix jsou mostní konstrukce. Po celé ČR byly z důvodů technických i ekonomických použity právě patinující oceli. Jsou to konstrukce silniční a železničních soustav přes nádraží Ostrava-Svinov, mosty přes řeku Ostravici ve Frýdku-Místku nebo mosty v Brně a Praze. Chování patinujících ocelí na těchto konstrukcích bylo sledováno na 5 mostech a 3 lávkách. Na konstrukcích se vytvářela rez-patina bez problémů. Docházelo místy ke spárové korozi šroubových spojích tenkých plechů.

Stupeň ohrožení nepříznivé tvorby patiny je převážně dán konstrukcí a umístění v terénu. Při nahromadění nečistot docházelo k nepříznivému ovlivnění vzniku korozních zplodin. Pokud na mostech bylo aplikováno očištění vodou, korozní problémy nenastaly.

U starších projektů byla zaznamenána nepříznivá tvorba patiny, především u mostních konstrukcí. Příčiny vzniku poruch tvorby patiny byly dvojího druhu. Zaprvé, nevhodné uspořádání konstrukce nebo poruchy vlivem nedostatečné údržby mostní konstrukce. Jedním ze zastupitelů nevhodného projektu byl železniční most přes řeku Opavici v Krnově. Příhradový most byl postaven v roce 1979. Při povodni v roce 1997 došlo k zaplavení mostu. Důsledkem toho došlo k nepříznivému vývoji vrstvy patiny na příčných a podélných pásech hlavních nosníků příhradového mostu. Docházelo k odloupávání vrstev patiny v důsledku nahromadění vrstev rzi a nečistot (na obr. 2.5 a 2.6 je vyobrazeno nahromadění nečistot).



Obr. 2.5 a 2.6 Nahromadění rzi a nečistot na nosníku příhradového mostu [5]

Patinující oceli mají stále větší uplatnění v architektuře. V posledních deseti letech je zaznamenán nárůst zájmu právě o tento typ materiálu. Zde se kladе důraz především na estetičnost. Základní princip u běžných konstrukčních řešení platí i tady. Nevhodné korozní projevy vznikají na horizontálních plochách nebo plochách s malým sklonem. Nejnovější zájem je o výstavbu unikátních rodinných domů v přírodním prostředí. V USA, Japonsku a Kanadě byly realizovány unikátní projekty výstavby rodinných domů (viz obr. 2.7).



Obr. 2.7 Rodinný dům z patinující oceli – Ontario, Kanada [8]

Využilo se estetického vzhledu rzi pokrytých ploch s okolní zelení nebo v oblastech s vyskytujícím se pískem. V Humpolci byl realizován jeden projekt právě z oceli Atmofix (viz obr. 2.8).



Obr. 2.8 Rodinný dům z patinující oceli – Humpolec, ČR [8]

3 VLIV SOLI A SOLÍCÍCH ROZTOKŮ NA POVRCH MATERIÁLŮ

Soli a solící roztoky výrazně ovlivňují průběh koroze jak u normálních ocelí tak u ocelí typu Atmofix. Nejčastěji korozi urychlují a napomáhají v rozrušování základního materiálu a ochranných povlaků. Nejvýznamněji korozi ovlivňují vodné roztoky soli.

Rozpouštědlem roztoku soli je voda. Agresivnost solících roztoků je závislá na několika faktorech.

Agresivita solících roztoků je určována pomocí těchto faktorů:

- druhem a koncentrací soli,
- přítomnosti nečistot, agresivních plynů a mikroorganismů,

- teplotou, hodnotou pH a redoxním potenciálem.

Další faktor ovlivňující průběh koroze je vlastnost a typ materiálu (popř. ochranný povlak).

pH roztoku je určována druhem rozpuštěné soli. Je důležité, zda roztok je kyselý, zásaditý nebo neutrální. U kyselých roztoků soli je stejná korozní rychlost jako u příslušné kyseliny o stejné hodnotě pH. U zásaditých roztoků soli je agresivita obdobná jako u roztoku čistého hydroxidu o stejné hodnotě pH. Např. roztoky, které mají vyšší pH než 9,5, mají schopnost pasivovat železo. Ale naopak silně napadají ostatní kovy, jejichž kysličníky jsou rozpustné v hydroxidech. Z těchto důvodů je agresivnost roztoků určována pomocí hodnoty pH roztoku a velikosti redoxního potenciálu. Agresivní napadení je řízeno působením anionů v soli, ale také důležitou úlohu hrají kationy těchto solí.

Rostoucí koncentrace solných roztoků zpravidla urychluje korozi. Roztok z vysokou koncentrací má totiž i vyšší vodivost a tím napomáhá k rozrušování povrchu materiálu. S rostoucí koncentrací soli se zmenšuje množství rozpuštěného kyslíku. Kyslík nám zohledňuje rychlost koroze. Při velkém množství kyslíku v roztoku se koroze zastaví a dále nepostupuje.

Teplota a typ prostředí je dalším činitelem ovlivňující postup koroze v materiálu. Při zvýšení teploty nad 30 °C se koroze urychlí zhruba dvojnásobně.

Soli se rozlišují na:

- chloridy, halogenidy
- sírany, siřičitany, sirníky
- dusičnany, dusitany, chromany
- uhličitany, fosforečnany, křemičitany

Soli a solící roztoky používané na silnicích v ČR

Pro zajišťování sjízdnosti silnic a dálnic se v ČR a v Evropě používají dva druhy materiálů:

- chemické rozmrazovací materiály
- zdršňující posypové materiály

Chemické rozmrazovací materiály jsou látky způsobující změnu fyzikálně-chemických vazeb. Výsledkem je změna sněhu a ledu do vodného roztoku. Účelem zdršňujících posypových materiálů je zlepšit přilnavost a tření na vozovkách.

Na evropských silnicích se nejčastěji používá jako rozmrazovací materiál sůl, převážně chlorid sodný NaCl. Za posledních dvacet let se hledala náhrada chloridu sodného používaných na silnicích, ale zatím nebyla žádná ekvivalentní náhrada nalezena. Zkoušené látky byly příliš drahé nebo neměly daný rozmrazovací účinek. Téměř všechny evropské země používají pro posyp silnic chlorid sodný. Včetně roztoku NaCl se jako rozmrazovací materiál používá chlorid vápenatý CaCl_2 a chlorid hořečnatý MgCl_2 . Používání chloridu vápenatého je omezené a to z důvodu nepříznivé chemické reakce s betonovou konstrukcí (dochází k rozleptání betonu s následnou celkovou degradací). Chemické materiály jako jsou glykoly, alkoholy a močovina se používají v omezené míře. Mají vesměs nežádoucí účinky. Jako náhrada těchto chemických látek se uvažuje použití materiálu označovaného jako CMA (Calcium Magnesium Acetate). Výhodou je nezávadnost k životnímu prostředí, ale nevýhodou je na druhé straně vysoká pořizovací cena.

3.1. Vlastnosti chemických rozmrazovacích látek

Vlivem fyzikálních vlastností solí se sníží bod mrazu vody a tím se zabráni vytvoření ledu. U těchto materiálů platí, čím větší koncentrace solného roztoku, tím hlouběji leží bod mrazu a jeho zamrznutí. Avšak každá posypová sůl má svůj limit maximální koncentrace. Maximální hranice odpovídá teplotě bodu na stavovém grafu roztoku nazývaný jako „eutektický bod“. Při dosažení tohoto bodu dojde k zamrznutí vody při jakékoliv koncentraci solného roztoku. Pro běžnou zimní údržbu je tato hranice nad eutektickým bodem. Pokud zvyšujeme koncentraci solného roztoku nad eutektický bod, potom teplota ztuhnutí naopak stoupá tak dlouho, dokud nedosáhne hodnoty $0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Při zvyšování koncentrace roztoku soli může docházet ke vzniku pevné soli při teplotách nižších $0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Soli účinkují jako rozmrazovací látky jen tehdy, pokud absorbovaly z ovzduší vlhkost. Po navlhčení soli se v roztoku uvolní vnitřní napětí, které je nižší než u vody a ledu.

Jak bylo řečeno, hlavní vliv na rozmrazovací schopnosti má koncentrace solného roztoku. Pokud je koncentrace solného roztoku chloridu sodného 22%, potom se může led rozpouštět do teploty $-21\text{ }^{\circ}\text{C}$. Podobně je na tom chlorid vápenatý. Při koncentraci 30% chloridu vápenatého se dokáže led rozpouštět až do teploty $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$. Při dosažení této teploty se vnitřní napětí ledu a roztoku vyrovnají a tyto dvě sloučeniny mohou spolu existovat v rovnováze.

Posypové soli nesmí obsahovat více než 5 váhových procent prachových částic pod 0,16mm. Jemné částice zapříčiňují rychlé a plošné rozpouštění avšak účinek do hloubky je omezený. Sůl jako taková nesmí obsahovat při dodání více než dvě váhová procenta stálé vlhkosti a musí obsahovat 96 váhových procent účinné rozpouštěcí látky. Dodaná sůl musí mít na štítku údaje o chemickém složení, podílu nerozpustných příměsí, vlhkosti a velikosti zrnitosti. Zrnitost posypových solí se člení do pěti skupin:

- pod 0,16mm
- od 0,16 do 0,80 mm
- od 0,80 do 3,15 mm
- od 3,15 do 5,00 mm
- nad 5,00 mm

3.2.1. Chlorid sodný (NaCl)

Jedná se nejrozšířenější posypový materiál, těžený v solných dolech anebo je získávaný odpařováním z mořské vody. Chlorid sodný se používá od -5 do -7 °C (jeho eutektický bod je -21,2 °C). Na zimní údržbu se používá buď v pevném skupenství nebo jako solankový roztok.

Velikost zrnitosti má vliv na vlastnosti posypové soli. Při velikosti zrna menší než 1 mm se zvýší doba setrvání na povrchu vozovky. Doporučená velikost zrna se pohybuje v rozmezí od 0,16 do 5 mm. Produkt se dodává jako volně ložený. Produkt je kontrolován na přítomnost cizích látek a zda materiál není znečištěný a kontroluje zpomalovač tvrdnutí. Jako zpomalovač tvrdnutí se nejčastěji používá ferrokyanid draselný nebo ferrokyanid sodný.

Vlastní použití soli je od -5 do -7 °C. Pod touto teplotou se zpomalí tavící schopnost solícího roztoku a při teplotách od -11 °C se posypová sůl stává nepoužitelnou. Proto se běžně používá směs chloridu sodného s chloridem vápenatým. Cenový rozdíl mezi těmito solícími roztoky je asi šestinásobný. Dalším problémem u chloridu sodného je, že potřebuje pro svou aktivaci malou aktivační energii (např. sluneční paprsky). Aktivační energii může získat pomocí dopravního provozu vlivem tření. Proto tato sůl začíná působit pomaleji než ostatní soli.

3.2.2. Chlorid vápenatý (CaCl₂)

Tato posypová sůl je vedlejším produktem výroby sody. Samotný chlorid vápenatý je velmi účinný až do teplot do -35 °C (jeho eutektický bod je -50 °C). Má rychlejší

počátek rozpouštění než běžné soli. Podobně jako chlorid sodný se používá buď v pevném skupenství nebo jako solanka. Používaná koncentrace se pohybuje od 15% do 32%. Nejčastěji se tato posypová sůl používá jako solanka s koncentrací 26%. Samotný materiál se dodává ve formě vloček nebo šupin z čistého hydroxidu vápenatého v průměrné tloušťce od 3 do 3,5 mm.

3.2.3. Chlorid hořečnatý (MgCl_2)

Chlorid hořečnatý se používá ve formě roztoku. V zimní údržbě se používá jako likvidační posyp. Samotný posyp se nedoporučuje, protože může snížit přilnavost pneumatik k vozovce (snižuje součinitel tření). Její použití je při $-9\text{ }^\circ\text{C}$ (eutektický bod má $-33\text{ }^\circ\text{C}$ při koncentraci 21%). Výrobek se připravuje ve formě solného roztoku.

3.2.4. Močovina ($\text{CO}(\text{NH}_2)_2$)

Močovina se dodává v zrnité formě o průměrné velikosti zrn 1 až 2 mm. Substance není žíravá, ale je velmi lehká (možnost odvanutí větrem). Používá se ve směsi s vodou nebo pískem. Používá se do teploty $-7\text{ }^\circ\text{C}$. Pod touto teplotou křivka rozmrazení příkře klesá. Největší předností použití močoviny je velmi nízký korozivní účinek na materiály.

3.2.5. Alkoholy a glykoly

Použití na letištních plochách, kvůli svým antikorozním vlastnostem. Při používání dochází k velmi vysokému vypařování a jejich bod vzplanutí je nízký. Izopropylalkohol obsažený v těchto látkách napomáhá ke snížení povrchového napětí rozpouštěné vody a tím se pak voda dostává do jemných trhlinek na povrchu vozovky. Po odpaření alkoholu a následném zamrznutí vozovky dochází k destrukci vozovky a jejímu znehodnocení.

3.2.6 CMA (Calcium Magnesium Acetate)

V USA byl vyvinut výrobek, který dostal označení CMA (Calcium Magnesium Acetate). Tento výrobek byl v několika zemích testován, avšak cena a jiné nežádoucí vlastnosti donutili od tohoto výrobku upustit. CMA nemá v komplexním pohledu takové výhody jako používané chloridy.

Použití posypových materiálů a solických roztoků je v České republice stanoveno zákonem. Limity pro obsah těžkých kovů a nevhodných příměsí nebyly dosud stanoveny zvláštními předpisy. Na ostravských silnicích se používá pouze chlorid sodný

o koncentraci od 18 do 21 procent. Tato koncentrace závisí na teplotě. Čím nižší teplota, tím vyšší koncentrace. Při mrazech větších než $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ se jako přídavný materiál používá kamenivo prané s frakcí 4 až 8mm.

4 KLASIFIKACE KOROZNÍHO PROSTŘEDÍ

Klasifikace korozního prostředí se určuje podle normy ČSN EN ISO 12944. Norma rozlišuje celkem 5 typů korozního prostředí C1 až C5 z toho korozní prostředí C5 je dále rozděleno na průmyslové a přímořské prostředí. V tab. 4.1 je uvedeno rozdělení i s danými příklady tohoto prostředí. V tab. 4.3 jsou uvedeny stupně korozní agresivity pro vody a půdy.

Stupeň korozní agresivity	Očekávaná životnost	Příklady typických prostředí mírných klimatických pásem (pouze informativní)	
		Venkovní	Vnitřní
C1 velmi nízká	nízká (L) 2 až 5 let střední (M) 5 až 15 let vysoká (H) nad 15 let		Vytápěné budovy s čistou atmosférou, např. kanceláře, školy, obchody, hotely
C2 nízká	nízká (L) 2 až 5 let střední (M) 5 až 15 let vysoká (H) nad 15 let	Atmosféry s nízkou úrovní znečištění, převážně venkovské prostředí	Nevytápěné budovy, kde může docházet ke kondenzaci vlhkosti, např. sklady, sportovní haly
C3 střední	nízká (L) 2 až 5 let střední (M) 5 až 15 let vysoká (H) nad 15 let	Městské a průmyslové atmosféry s mírným znečištěním oxidem siřičitým; přímořské prostředí s nízkou salinitou	Výrobní prostory s vysokou vlhkostí a malým znečištěním ovzduší, např. výrobní potravin, prádelny, pivovary, mlékárny
C4 vysoká	nízká (L) 2 až 5 let střední (M) 5 až 15 let vysoká (H) nad 15 let	Průmyslové prostředí a přímořské prostředí s mírnou salinitou	Chemické závody, plavecké bazény, loděnice a doky na mořském pobřeží
C5-I velmi vysoká (průmyslová)	nízká (L) 2 až 5 let střední (M) 5 až 15 let vysoká (H) nad 15 let	Průmyslové prostředí s vysokou vlhkostí a agresivní atmosférou	Budovy nebo prostředí s převážně trvalou kondenzací a s vysokým znečištěním ovzduší

C5-M velmi vysoká (přímořská)	nízká (L) 2 až 5 let střední (M) 5 až 15 let vysoká (H) nad 15 let	Přímořské prostředí s vysokou salinitou	Budovy nebo prostředí s převážně trvalou kondenzací a s vysokým znečištěním ovzduší
-------------------------------------	--	---	---

Tab. 4.1 Stupně korozní agresivity atmosféry

Stupeň korozní agresivity	Uhlíková ocel	
	Úbytek hmotnosti [g/m ²]	Úbytek tloušťky [μm]
C1	≤ 10	≤ 1,3
C2	> 10 - 200	> 1,3 - 25
C3	> 200 - 400	> 25 - 50
C4	> 400 - 650	> 50 - 80
C5 – I	> 650 - 1500	> 80 - 200
C5 – M	> 650 - 1500	> 80 - 200

Tab. 4.2 Velikosti úbytku materiálu

Stupeň	Prostředí	Příklad prostředí a konstrukcí
Im1	Sladká voda	Vodní stavby, vodní elektrárny
Im2	Mořská nebo poloslaná voda	Ocelové stavby v přístavech jako stavidla, výpusti, plavební komory; plovoucí plošiny
Im3	Půda	V zemi uložené nádrže, ocelové potrubí, ocelové piloty

Tab. 4.3 Stupně korozní agresivity vody a půdy

5 NÁVRH EXPERIMENTÁLNÍCH PRACÍ

- Čištění vzorků**
- okartáčování ocelovým kartáčem
 - otryskávání
- Povrch vzorku**
- čistota povrchu dle ISO 8501-1, makrosnímek zvětšení 100x
 - prašnost povrchu dle ČSN ISO 8502-3
 - drsnost povrchu vzorku dle ISO 8503
 - (drsnoměr Mitutoyo Surftest-301- dle ČSN EN ISO 4287)
- Nanášení barev**
- štětcem
- Zkoušky nátěrů**
- stanovení tloušťky nátěru suché vrstvy dle ČSN EN ISO 2808
 - korozní zkouška v solné mlze dle ČSN ISO 9227
 - atmosférická zkouška s postřikem solného roztoku dle ISO 11474
 - odtrhová zkouška přilnavosti dle ČSN EN ISO 16 276-1
 - mřížková zkouška dle ČSN EN ISO 16276 – 2
 - degradace nátěrů dle ČSN EN ISO 4628-8
 - stupeň puchýřkování dle ČSN EN ISO 4628-2

6 POPIS EXPERIMENTÁLNÍCH PRACÍ

Pro experimentální práci byly použity vzorky o rozměrech 150 x 100 x 3 mm, které byly vyrobeny z oceli pod obchodním názvem Cor-ten A, Cor-ten B a Atmofix. Tento typ oceli se používá pro nosné konstrukce. Celkově bylo hodnoceno 68 vzorků. 12 vzorků bylo referenčních pro porovnání se vzorky, které byly vystaveny koroznímu prostředí.

6.1 Příprava vzorků

Vzorky typu Cor-ten A a Cor-ten B byly očištěny od hrubých nečistot otryskáváním. Vzorky typu Atmofix, které byly vystaveny po dobu 24 let atmosférické korozi, byly očištěny ocelovým drátěným kartáčem z důvodu zajištění přilnavosti nátěrových hmot při nanášení. Žádný ze vzorků nevykazoval zamaštěný povrch. Na vzorky bylo vyraženo číslo a písmena, které udávají o jaký typ materiálu se jedná. Vzorky typu Cor-ten A byly označeny značkou CA a vzorky typu Cor-ten B byly označeny značkou CB. Vzorky typu Atmofix byly označeny písmenem A a číslicí.

Na všechny vzorky byly nanесeny nátěrové hmoty z obou stran. Celkem byly nanášeny 4 typy nátěrových systémů. V následující tabulce 6.1 jsou zapsány jednotlivé typy nátěrů s přiřazením vzorků, na kterém byl daný nátěr aplikován.

6.2 Přiřazení jednotlivých vzorků

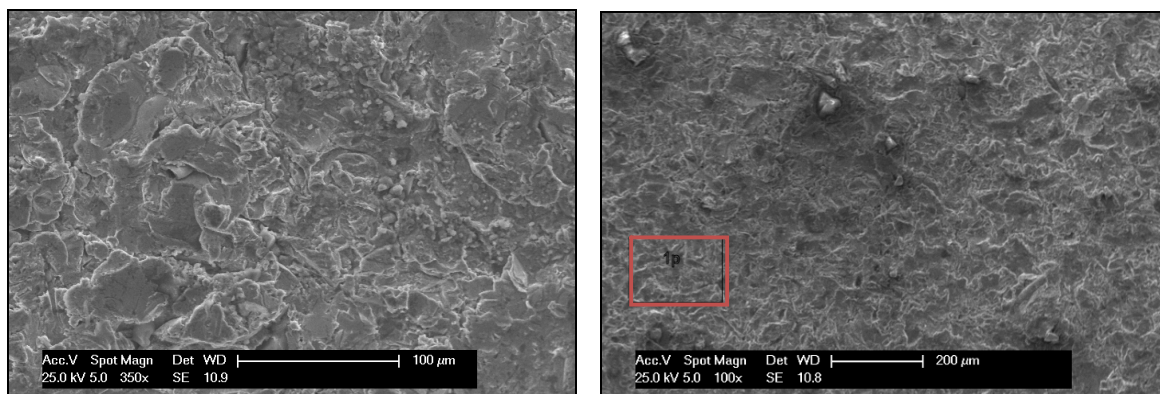
Typ nátěrové hmoty	Referenční vzorky bez koroze	Referenčním vzorky s korozí	Vzorky bez koroze	Vzorky s korozí
Amershiel	CA37, CB37	A37	CA05, CA53, CA54, CA55, CB05, CB53, CB54, CB55,	A5, A65, A66, A67, A68, A69
Amercoat 450S	CA42, CB42	A42	CA13, CA56, CA57, CA58, CB13, CB56, CB57, CB58	A13, A61, A62, A63, A64, A70
Amerlock 400 Al	CA47, CB47	A47	CA21, CA59, CA60, CA61, CB21, CB59, CB60, CB61	A21, A57, A58, A59, A60, A71
Amerlock 400 Color	CA52, CB52	A51	CA27, CA62, CA63, CA64, CB26, CB62, CB63, CB64	A29, A53, A54, A55, A56, A72

Tab. 6.1 Přiřazení vzorků k nátěrovým hmotám

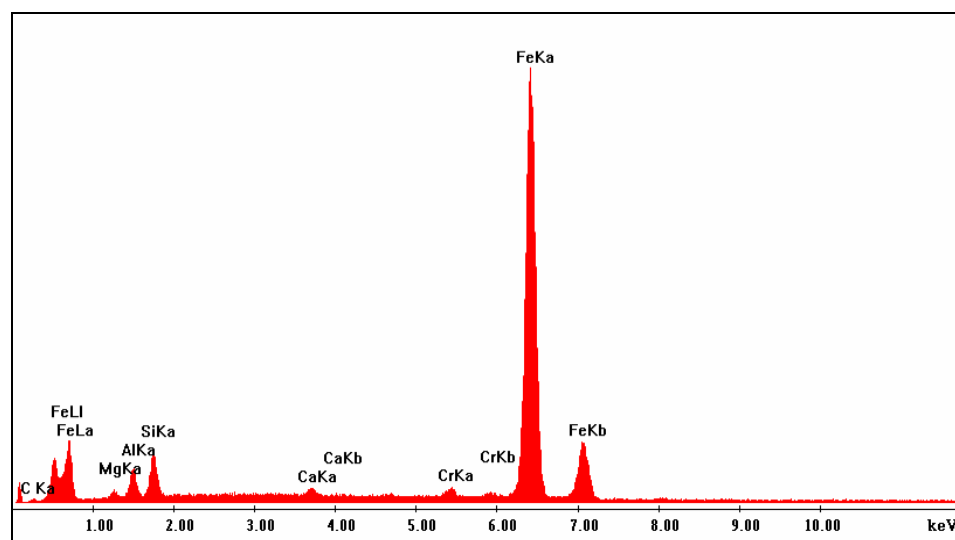
6.3 Hodnocení povrchu podkladových materiálů

Chemické složení vzorků s fotografickou dokumentací bylo měřeno pomocí elektronového mikroanalyzátoru EDAX, COU LEAP DETECTOR.

6.3.1 Hodnocení povrchu ocelového vzorku COR-TEN A



Obr. 6.1 - a) zvětšení povrchu vzorku Cor-ten A 350x, b) zvětšení povrchu vzorku Cor-ten A 100x s označením plochy chemického rozboru



Obr. 6.2 - Chemická analýza povrchu (viz. Obr. 6.1 b – plocha 1p)

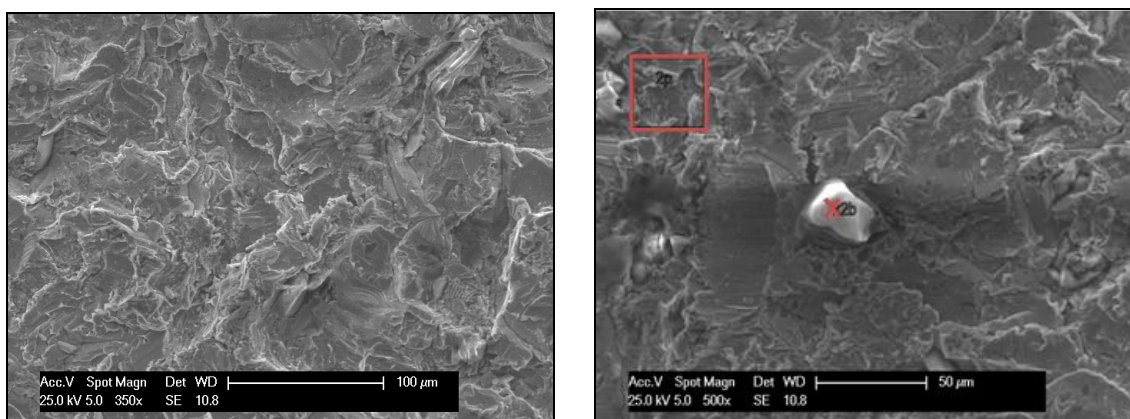
Cor-ten A Obr. 6.1 plocha 1p		
EDAX ZAF Quantification, Standardless,		
Element Normalized		
SEC Table : Default		
Element	Wt [%]	At [%]
C	2,96	11,10
Mg	1,61	2,99
Al	4,80	8,00
Si	5,73	9,18
Ca	0,640	0,72
Cr	1,07	0,93
Fe	83,19	67,08

Tab. 6.2 - Chemická analýza povrchu (viz. Obr. 6.1 b – plocha 1p)

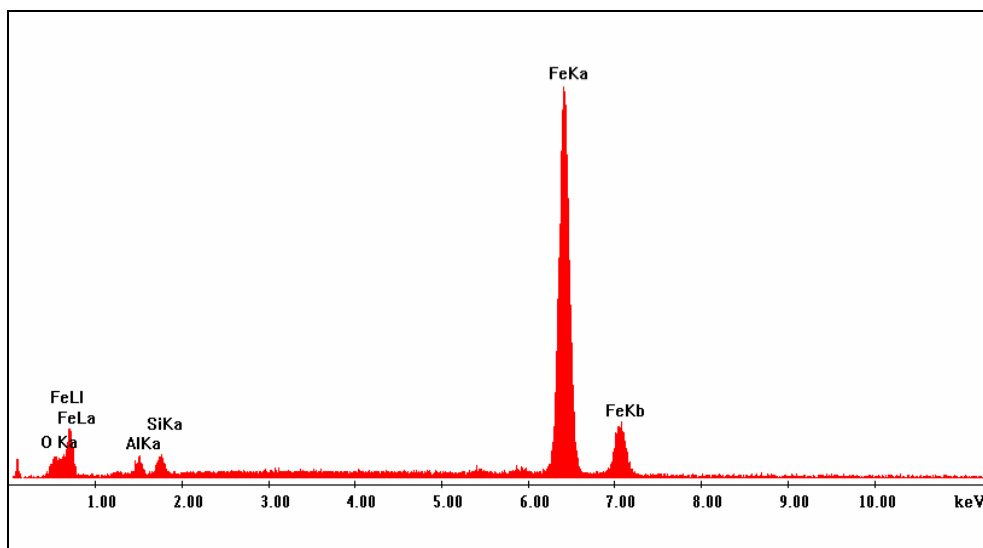
Obchodní označení	Obsah jednotlivých prvků v oceli [hm.%]										
	C	Mn	Si	P	S	Ni	Cr	Cu	V	Al	Nb
Cor-Ten A	0,09	0,35	0,30	0,081	0,005	0,27	0,48	0,28	-	0,037	-

Tab. 6.3 - Chemické složení materiálu Cor-ten A [11]

6.3.2 Hodnocení povrchu ocelového vzorku COR-TEN B



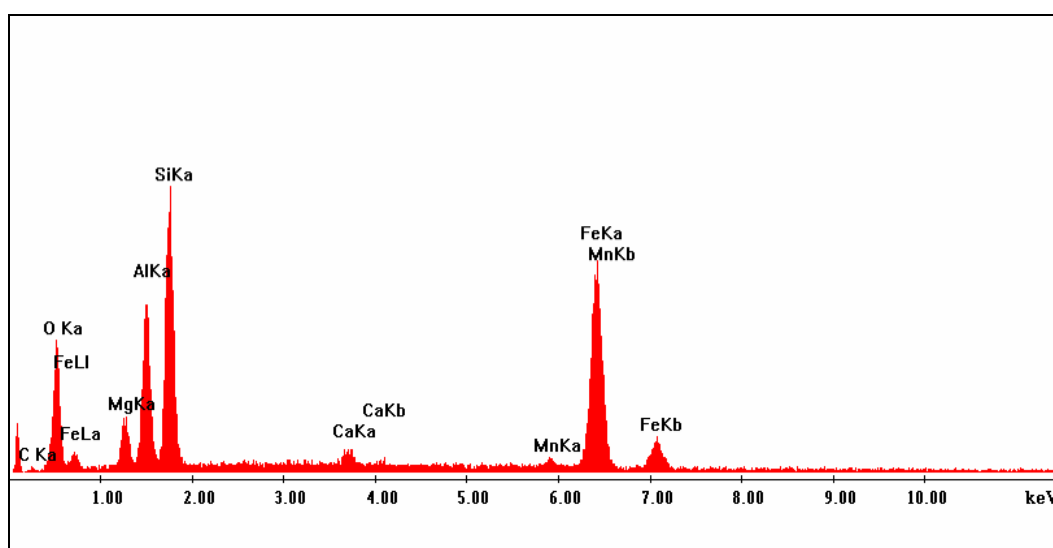
Obr. 6.3 - a) zvětšení povrchu vzorku Cor-ten B 350x , b) zvětšení povrchu vzorku Cor-ten B 500x s označením plochy a bodu chemického rozboru



Obr. 6.4 - Chemická analýza povrchu (viz obr. 6.3 b – plocha 2p)

Cor-ten B Obr. 6.3 b - plocha 2p		
EDAX ZAF Quantification, Standardless,		
Element Normalized		
SEC Table : Default		
Element	Wt [%]	At [%]
O	5,41	15,68
Al	3,56	6,12
Si	3,12	5,15
Fe	87,92	73,05

Tab. 6.4 - Chemická analýza povrchu (viz obr. 6.3 b – plocha 2p)



Obr. 6.5 - Chemická analýza povrchu (viz Obr. 6.3 d – bod 2b)

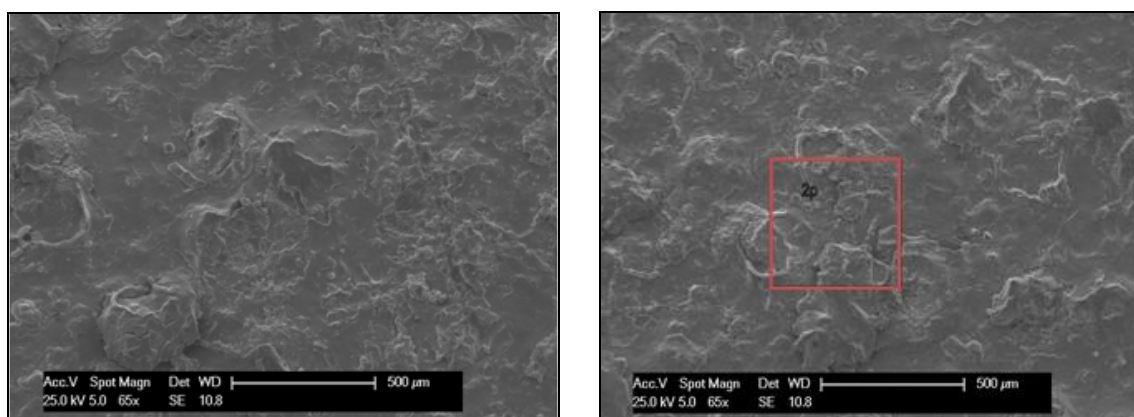
Cor-ten B Obr. 6.3 b – bod 2b		
EDAX ZAF Quantification, Standardless,		
Element Normalized		
SEC Table : Default		
Element	Wt [%]	At [%]
O	36,09	53,73
Mg	5,45	5,34
Al	14,49	12,79
Si	21,84	18,52
Ca	0,94	0,56
Mn	1,11	0,48
Fe	20,09	8,57

Tab. 6.5 – Chemická analýza (viz obr. 6.3 b – bod 2b)

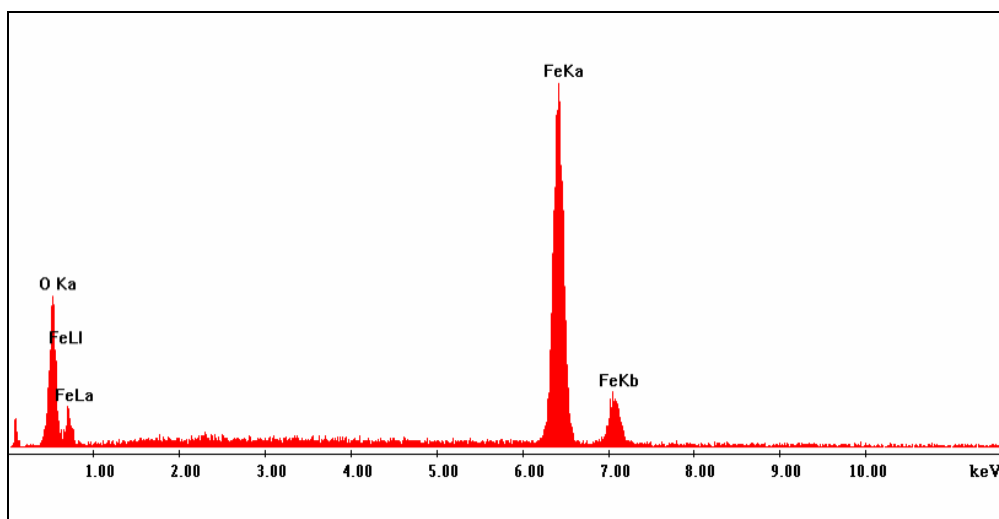
Obchodní označení	Obsah jednotlivých prvků v oceli [hm. %]										
	C	Mn	Si	P	S	Ni	Cr	Cu	V	Al	Nb
Cor-Ten B	0,19	0,80 1,25	0,30 0,65	0,04	0,05	0,40	0,40 0,65	0,25 0,40	0,02 0,10	-	-

Tab. 6.6 - Chemické složení materiálu Cor-ten B [11]

6.3.3 Hodnocení povrchu ocelového plechu typu Atmosfix expo. 24 let



Obr. 6.6 - a) povrchu vzorku Atmosfix exponovaného 24 let, zvětšení 65x, b) povrch vzorku Atmosfix exponovaného 24 let, zvětšení 65x s označením plochy chemického rozboru



Obr. 6.7 - Chemická analýza povrchu (viz. Obr. 6.5 b – plocha 2p)

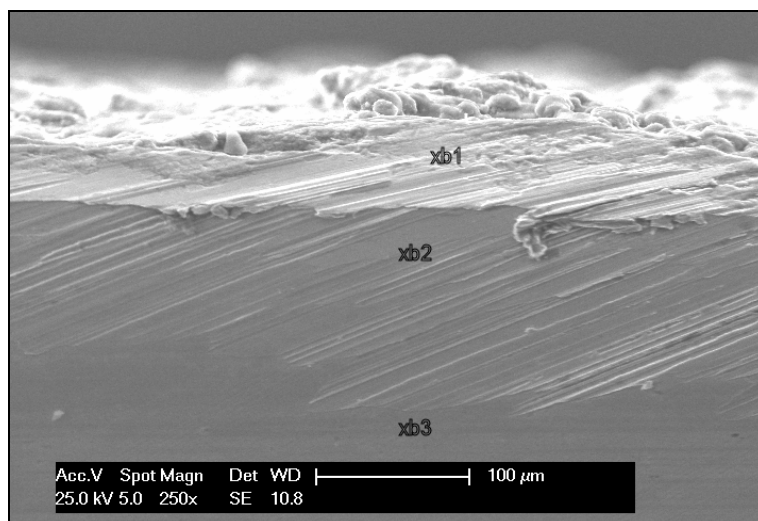
Atmofix 24 let exponovaný Obr. 6.6 b – plocha 2p)		
EDAX ZAF Quantification, Standardless,		
Element Normalized		
SEC Table : Default		
Element	Wt [%]	At [%]
O	28,45	58,12
Fe	71,55	41,88

Tab. 6.7 – Chemická analýza povrchu (viz. Obr. 6.6 b – plocha 2p)

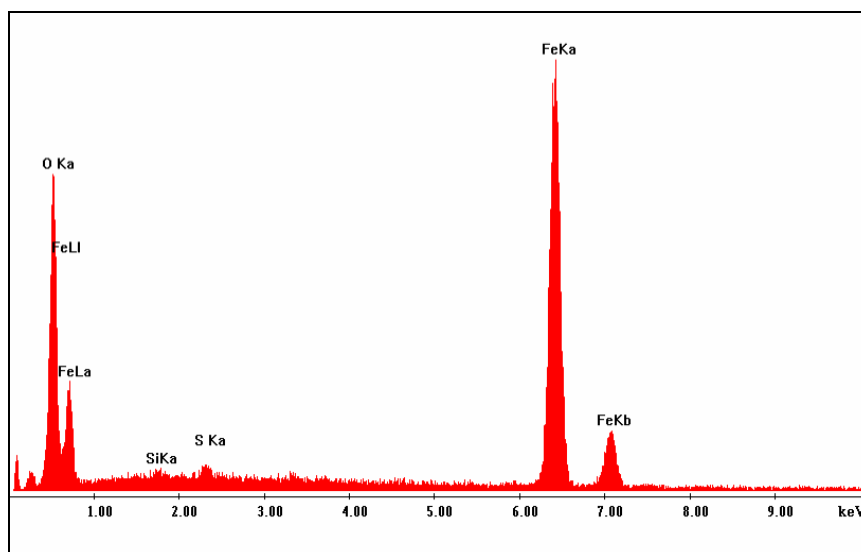
Chemické složení základního materiálu typu Atmofix exponovaného 24 let bylo proměřeno na analyzátoru kovových předmětů SPECTROMAXx (viz tab. 6.8).

C [%]	Si [%]	Mn [%]	P [%]	S [%]	Cr [%]	Ni [%]	Mo [%]	Al [%]	Cu [%]
0,108	0,409	0,398	0,087	0,014	0,780	0,322	0,004	0,041	0,307
Co [%]	V [%]	W [%]	Sb [%]	Sn [%]	Zn [%]	As [%]	Bi [%]	Ta [%]	Fe [%]
0,041	0,001	0,028	0,053	0,003	-	0,023	0,011	0,033	97,300

Tab. 6.8 - Chemické složení materiálu typu Atmofix 24 let exponovaný



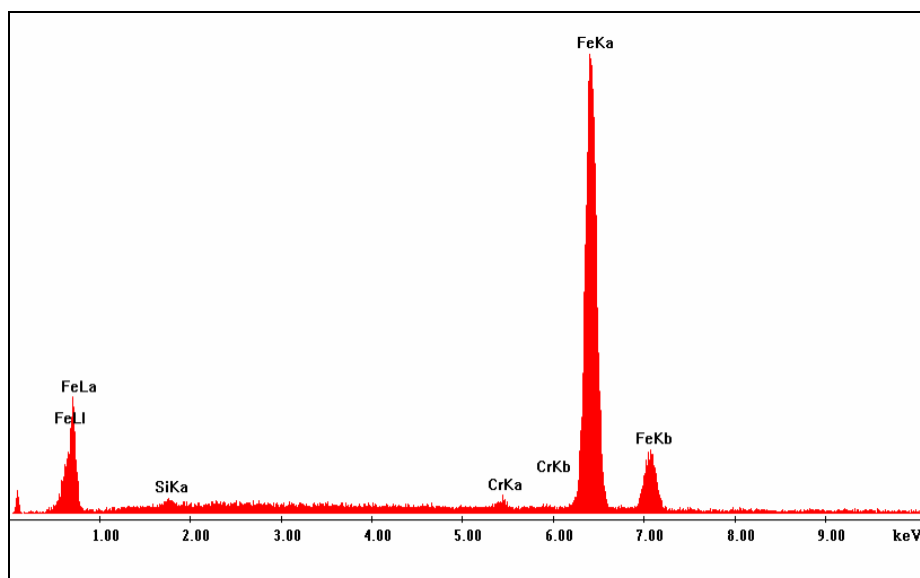
Obr. 6.8 - Průřez patinující vrstvou Atmofix exponovaného 24 let



Obr. 6.9 - Chemická analýza (viz obr. 6.8 – bod b1)

Atmofix 24 let exponovaný Obr. 6.8 – bod b1		
DAX ZAF Quantification, Standardless,		
Element Normalized		
SEC Table : Default		
Element	Wt [%]	At [%]
O	41,24	70,60
Si	0,61	0,59
S	0,78	0,67
Fe	57,37	28,13

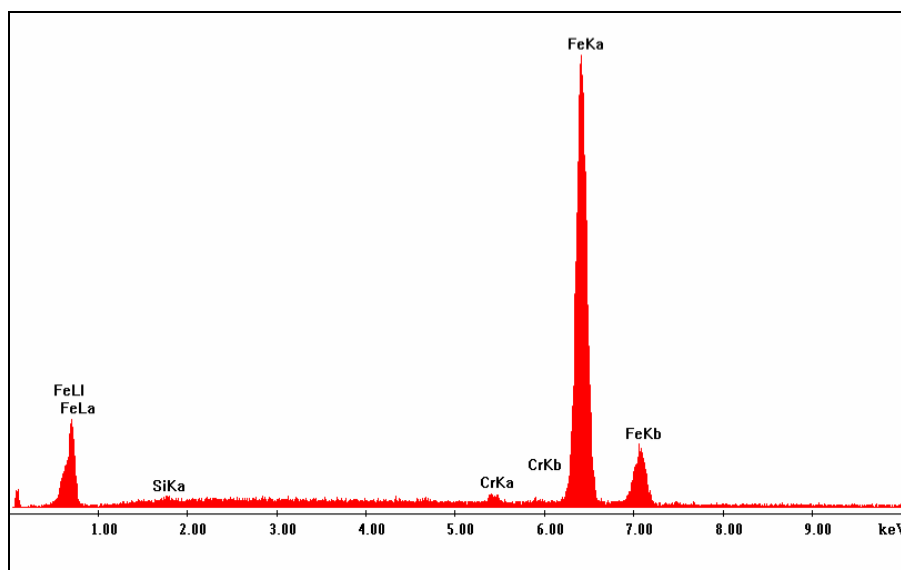
Tab. 6.9 – Chemická analýza (viz obr. 6.8 – bod b1)



Obr. 6.10 - Chemická analýza (viz obr. 6.8 – bod b2)

Atmofix 24 let exponovaný Obr. 6.8 – bod b2		
EDAX ZAF Quantification, Standardless,		
Element Normalized		
SEC Table : Default		
Element	Wt [%]	At [%]
Si	1,57	3,06
Cr	1,17	1,24
Fe	97,27	95,70

Tab. 6.10 – Chemická analýza (viz obr. 6.8 – bod b2)



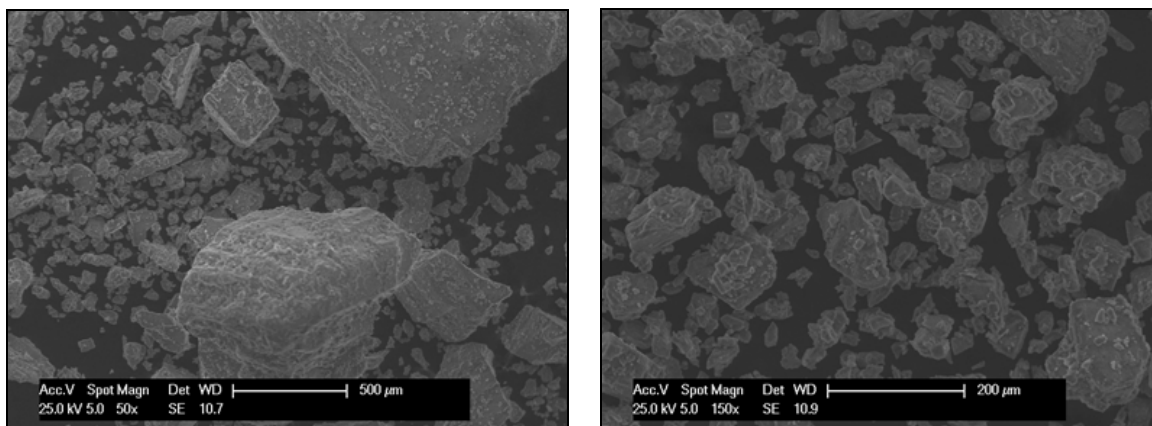
Obr. 6.11 - Chemická analýza (viz obr. 6.8 – bod b3)

Atmofix 24 let exponovaný Obr. 6.8 – bod b3		
EDAX ZAF Quantification, Standardless,		
Element Normalized		
SEC Table : Default		
Element	Wt [%]	At [%]
Si	1,13	2,23
Cr	1,01	1,07
Fe	97,85	96,70

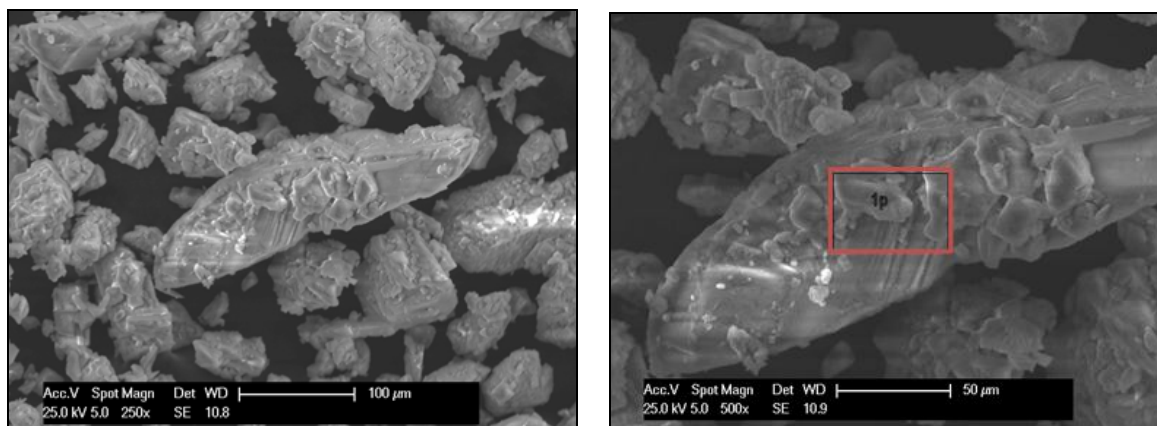
Tab. 6.11 – Chemická analýza (viz obr. 6.8 – bod b3)

6.4. Hodnocení složení posypové soli

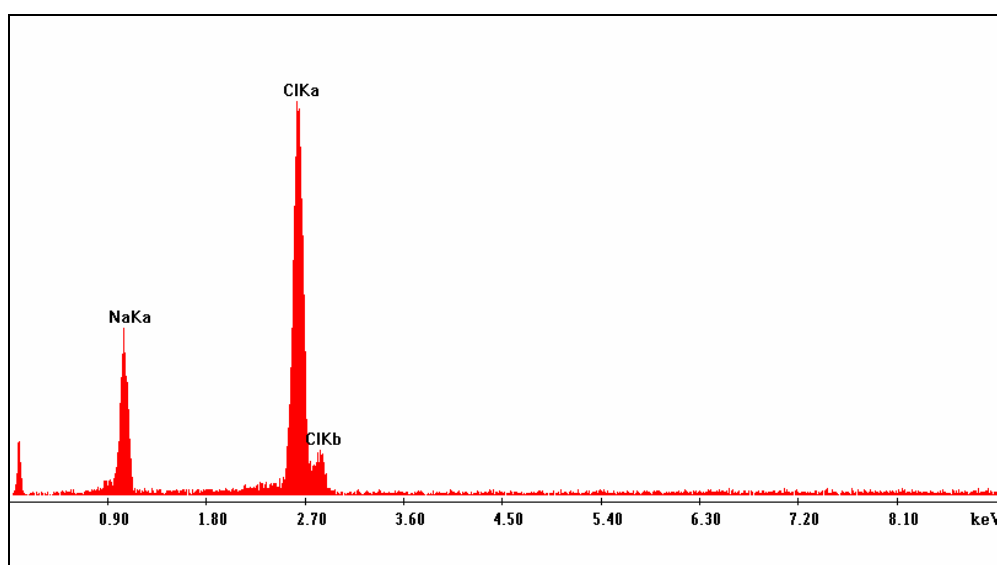
Chemické složení posypové soli s fotografickou dokumentací bylo měřeno pomocí elektronového mikroanalýzátoru EDAX, COU LEAP DETECTOR.



Obr. 6.12 - a) zvětšení zrnec soli 50x, b) zvětšení zrnec soli 150x



Obr. 6.13 - a) zvětšení zrnec soli 250x, b) zvětšení zrnec soli 500x s označením místa chemického rozboru



Obr. 6.14 - Chemická analýza posypové soli (viz. Obr. 6.13 b – plocha 1p)

Posypová sůl		
Obr. č. 6.13 b- 1 plocha		
EDAX ZAF Quantification, Standardless, Element Normalized		
SEC Table : Default		
Element	Wt [%]	At [%]
Na	35,87	46,31
Cl	64,13	53,69

Tab. 6.12 – Chemická analýza posypové soli (viz obr. 6.13 b – plocha 1p)

6.5 Prašnost povrchu vzorků dle ČSN ISO 8502-3

Vzorky očištěné po otryskávání ostrohrannou drtí GP18 na stupeň čistoty povrchu Sa 2 1 byly uloženy v laboratoři VŠB – Technická universita Ostrava, při laboratorní teplotě $T = 22,3^{\circ}\text{C}$ a vlhkosti 49%. Na šesti vybraných ocelových vzorcích se hodnotila prašnost povrchu před nanesením nátěrové hmoty. Prašnost se zjišťovala pomocí metody snímání samolepící pásky dle ČSN ISO 8502-3. Na povrch vzorku byl přilepen jeden samolepící pásek, který po lehkém přitlačení byl odejmut pod úhlem 180° . Tato páska byla poté nalepena na bílý podkladový papír. Následně bylo provedeno vyhodnocení nečistot usazených na této pásce.

Hodnocení prašnosti se provádí vizuálně porovnáním s odpovídající předlohou v tabulce. V tabulce jsou jednotlivé stupně prašnosti očíslovány od 1 do 5 (1- téměř žádný prach, 5- vysoká zaprášenost povrchu). Velikost částic se provádí podle tabulky, která definuje šest tříd velikosti částic od 0 do 5. Tabulky jsou uvedeny v příloze A – Tabulky vyhodnocení prašnosti povrchu. Výsledky byly zpracovány a zapsány do tabulek 6.13 a 6.14.

Vzorek	Stupeň zaprášení		Vzorek	Stupeň zaprášení	
CA53	1	čistý	A53	5	Velmi zaprášený
CA57	2	lehce zaprášený	A57	5	Velmi zaprášený
CA62	1	čistý	A61	5	Velmi zaprášený
CB53	1	čistý	A65	5	Velmi zaprášený

Vzorek		Stupeň zaprášení	Vzorek		Stupeň zaprášení
CB57		1	čistý		
CB62		1	čistý		

Tab. 6.13 Stupeň zaprášení jednotlivých vzorků

Vzorek		Třída velikosti částic	Vzorek		Třída velikosti částic
CA53		1	velikost částice do 50μm		A53
CA57		1	velikost částice do 50μm		4
CA62		1	velikost částice do 50μm		Velikost částic mezi 0,5 a 2,5 mm
CB53		1	velikost částice do 50μm		Velikost částic mezi 0,5 a 2,5 mm
CB57		1	velikost částice do 50μm		Velikost částic mezi 0,5 a 2,5 mm
CB62		1	velikost částice do 50μm		Velikost částic mezi 0,5 a 2,5 mm

Tab. 6.14 Třída velikosti částic jednotlivých vzorků

6.6 Měření drsnosti povrchu vzorků dle ČSN EN ISO 4287

Před nanesením nátěru na povrch vzorků bylo provedeno měření drsnosti povrchu. Měření se realizovalo na náhodně vybraných vzorcích a to příčně a podélně. Měření se provádělo přístrojem Mitutoyo Surftest – 301 (viz. Obr. 6.15) dle ČSN EN ISO 4287. Naměřené hodnoty byly zapsány do tabulek 6.15, 6.16 a 6.17. Výpočtem byl zjištěn jejich rozptyl.



Obr. 6.15 Mitutoyo Surftest – 301

Nastavení přístroje Mitutoyo Surftest – 301

- měření probíhalo dle ISO 1997
- $\lambda_c = 2,5\text{mm}$, $L = 12,5\text{ mm}$

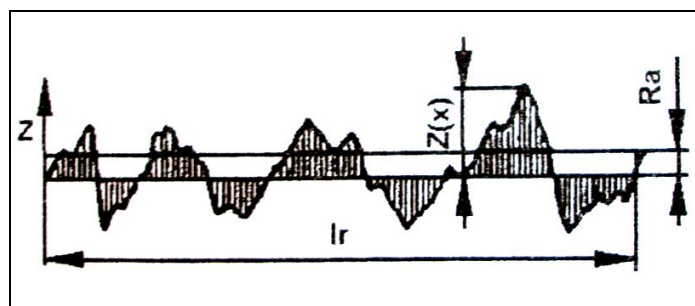
λ_c ... filtr profilu – definuje rozhraní mezi složkami drsnosti a vlnitosti

L ... délka měřeného úseku (dráha hrotu diamantového hrotu)

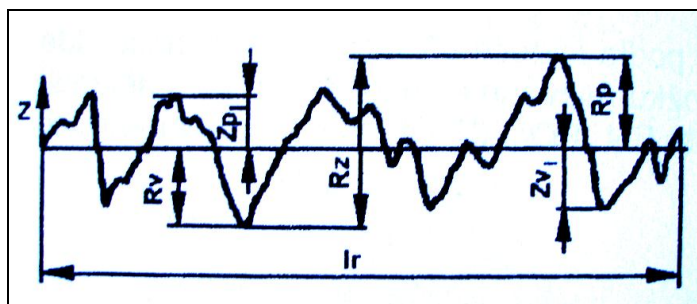
Byly naměřeny tyto parametry drsnosti:

- Ra - aritmetický průměr absolutních hodnot pořadnic $Z(x)$ v rozsahu základní délky l_r (viz obr. 6.16) [μm],
- Ry - maximální výška profilu [μm] (dle JIS 94),
- Rz - součet výšky nejvyššího výstupku a hloubky nejnižší prohlubně v rozsahu délky l_r (viz obr. 6.17) [μm],
- Rq - průměrná kvadratická úchylka posuzovaného profilu [μm],
- Rp - nejvyšší výška výstupku profilu [μm],
- Rv - největší hloubka prohlubně profilu [μm],
- Rsk - šikmost posuzovaného profilu (součinitel asymetrie) [-],
- Rku - špičatost posuzovaného profilu [-],
- λ_c - délka měřeného úseku [mm].

Kvalita drsnosti povrchu se hodnotí podle střední aritmetické odchylky od střední čáry profilu Ra nebo podle největší výšky profilu Rz.



Obr. 6.16 Hodnocení drsnosti povrchu dle Ra [12]



Obr. 6.17 Hodnocení drsnosti povrchu dle Rz [12]

Vzorek:	Atmofix							
Parametry:	$\lambda c = 2,5 \text{ mm}, l = 2,5 \text{ mm}$							
Měření	Ra [μm]	Ry [μm]	Rz [μm]	Rq [μm]	Rp [μm]	Rv [μm]	Rsk [-]	Rku [-]
1	6,08	30,57	37,19	7,73	17,16	20,03	-0,17	2,53
2	8,21	31,72	44,89	10,40	16,88	28,01	-0,81	2,88
3	6,32	28,77	41,65	7,79	24,66	16,99	0,26	2,92
4	6,37	28,56	36,36	7,81	16,03	20,33	-0,35	2,50
5	7,46	33,43	47,29	9,44	20,23	27,06	-0,38	3,11
6	7,16	28,09	36,48	8,77	17,49	18,98	0,02	2,20
7	7,84	34,56	44,89	9,73	21,68	23,21	-0,01	2,43
8	7,27	29,80	58,70	10,27	18,43	40,27	-1,32	5,75
9	6,09	27,65	36,85	7,43	17,85	19,00	0,16	2,59
10	7,23	32,39	58,41	9,76	19,15	39,26	-1,45	5,52
O	7,00	30,55	44,27	8,91	18,96	25,31	-	3,24

Tab. 6.15 Hodnoty drsností naměřené na vzorcích A

Výsledné průměrné hodnoty: $R_a = (7,00 \pm 0,53) \mu m$ $R_z = (44,27 \pm 6,00) \mu m$

Vzorek:	Cor-ten A							
Parametry:	$\lambda c = 2,5 \text{ mm}, l = 12,5 \text{ mm}$							
Měření	Ra [μm]	Ry [μm]	Rz [μm]	Rq [μm]	Rp [μm]	Rv [μm]	Rsk [-]	Rku [-]
1	4,07	24,29	38,08	5,51	22,83	15,25	0,76	6,33
2	3,51	19,03	24,13	4,39	11,86	12,27	-0,05	2,96
3	3,46	19,71	23,90	4,37	1,85	13,04	-0,12	3,03
4	3,89	22,56	29,24	5,00	14,31	14,93	-0,06	3,53
5	3,31	19,65	25,17	4,16	11,62	13,55	-0,11	3,19
6	3,35	19,30	24,26	4,22	11,85	12,41	0,05	3,01
7	3,97	21,54	25,38	4,89	12,11	13,27	-0,01	2,70
8	3,52	20,38	28,57	4,58	10,77	17,81	-0,61	4,62
9	3,94	21,26	27,45	4,91	12,41	15,04	-0,27	3,26
10	3,48	20,26	26,07	4,39	11,50	14,57	-0,11	3,27
O	3,65	20,80	27,23	4,64	12,11	14,21	-	3,59

Tab. 6.16 Hodnoty drsností naměřené na vzorcích CA

Výsledné průměrné hodnoty: $R_a = (3,65 \pm 0,20) \mu m$ $R_z = (27,23 \pm 2,99) \mu m$

Vzorek:	Cor-ten B							
Parametry:	$\lambda_c = 2,5 \text{ mm}$, $l = 12,5 \text{ mm}$							
Měření	Ra [μm]	Ry [μm]	Rz [μm]	Rq [μm]	Rp [μm]	Rv [μm]	Rsk [-]	Rku [-]
1	3,45	20,45	25,50	4,40	11,10	14,40	-0,22	3,26
2	3,42	20,36	25,49	4,41	11,24	14,25	-0,30	3,34
3	3,38	20,00	26,59	4,32	11,63	14,96	-0,19	3,65
4	3,45	20,41	24,86	4,43	11,89	12,97	-0,08	3,21
5	4,02	22,23	27,85	5,03	13,72	14,13	0,09	2,96
6	3,90	21,26	26,25	4,87	12,38	13,88	-0,21	2,90
7	4,09	23,07	27,09	5,13	12,08	15,01	-0,15	2,92
8	3,81	21,95	27,85	4,90	11,22	16,63	-0,41	3,50
9	4,05	22,69	31,49	5,15	14,37	17,11	-0,07	3,57
10	3,82	22,73	27,74	4,88	12,15	15,59	-0,27	3,33
O	3,74	21,52	27,07	4,75	12,18	14,89	-	3,26

Tab. 6.17 Hodnoty drsností naměřené na vzorcích CB

Výsledné průměrné hodnoty: $R_a = (3,74 \pm 0,20) \mu m$ $R_z = (27,07 \pm 1,33) \mu m$

6.7 Způsob nanášení nátěrů a kontrola tloušťky filmu dle ČSN EN ISO 2808

Nátěry byly naneseny na očištěný povrch vzorků, který nebyl ve styku s mastnotami. Nátěrové systémy byly namíchány v doporučeném poměru (viz příloha B, C, D a E – listy technických údajů) a byly naneseny na povrch vzorku v požadované tloušťce mokrého filmu. Tloušťka nanášeného mokrého filmu byla kontrolována hřebenovou měrkou dle ČSN EN ISO 2808.[19] Kontrola je pouze orientační, aby byla dodržena tloušťka nátěru. Pro kontrolu byla použita hřebenová měrka od firmy BASTRO (rozsah 25 - 2000μm) viz obr. 6.18.

Nátěrový systém	Celková tloušťka požadovaného suchého filmu [μm]
Amercoat 450 S	100
Amershield	250
Amerlock 400 Al	200
Amerlock 400 Color	200

Tab. 6.18 Požadovaná tloušťka suchého filmu



Obr. 6.18 Hřebenová měrka BASTRO

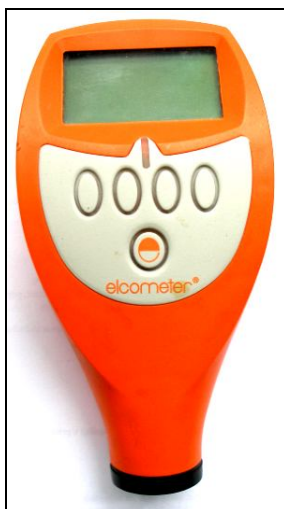
6.7.1 Vytvrzování nátěru

Po nanesení nátěru bylo nutné nechat vzorky vytvrdit. Po aplikaci byly vzorky vytvrzeny na vzduchu po dobu 30 dní při teplotě $T = 23^{\circ}\text{C}$ a vlhkosti 45%. Vytvrzování je chemickým procesem, kdy platí, že pokud se teplota vytvrzování zvýší o 10°C zvýší se proces vytvrzování o e^x ($e^4 = 54,6$).

6.7.2 Kontrola tloušťky suchého filmu dle ČSN EN ISO 2808

Po vytvrzení nátěru a vysušení, byla na vzorcích změřena tloušťka suchého filmu. Každý vzorek byl měřen 10x po celé ploše. Toto měření se provádělo digitálním tloušťkoměrem ELCOMETER 456 (rozsah 0 - 1500 μm) viz obr. 6.19. Zmíněný přístroj měří tloušťku nemagnetických povlaků na feromagnetickém podkladu. Všechny naměřené hodnoty byly zapsány do tabulek 6.19, 6.20, 6.21, 6.22 a zprůměrovány. Průměrná tloušťka nátěrových systémů na podkladových materiálech typu Cor-ten A, Cor-ten B a Atmofix se lišila od doporučené hodnoty výrobcem maximálně o $\pm 10 \mu\text{m}$.

U podkladových materiálů Atmofix exponovaných po dobu 24 let se tloušťka mokré vrstvy nátěrového systému zjišťovala špatně vlivem značné vlnitosti povrchu. Proto jsou výsledky více rozdílné od hodnoty doporučené výrobcem.



Obr. 6.19 ELCOMETRE 456

Nátěrový systém	Číslo vzorku	Podkladový materiál	Průměrná tloušťka [μm]	
			Přední strana	Zadní strana
Amershield	A05	Atmofix 24 let ex.	232,16	-
	A65	Atmofix 24 let ex.	284,96	238,99
	A66	Atmofix 24 let ex.	281,45	135,97
	A67	Atmofix 24 let ex.	192,12	210,89
	A68	Atmofix 24 let ex.	202,59	219,18
	CA05	Cor-ten A	246,6	-
	CA53	Cor-ten A	250	245,2
	CA54	Cor-ten A	242,3	247
	CA55	Cor-ten A	243,1	242,1
	CB05	Cor-ten B	243,9	-
	CB53	Cor-ten B	241,4	244,7
	CB54	Cor-ten B	247,2	242,7
	CB55	Cor-ten B	249,0	244

Tab. 6.19 Průměrná tloušťka suché vrstvy nátěrového systému Amershield

Nátěrový systém	Číslo vzorku	Podkladový materiál	Průměrná tloušťka [μm]	
			Přední strana	Zadní strana
Amercoat 450 S	A13	Atmofix 24 let ex.	127,36	-
	A61	Atmofix 24 let ex.	109	106,7
	A62	Atmofix 24 let ex.	105,4	106,1
	A63	Atmofix 24 let ex.	115,1	109,8

Nátěrový systém	Číslo vzorku	Podkladový materiál	Průměrná tloušťka tloušťka [μm]	
			Přední strana	Zadní strana
Amercoat 450 S	A64	Atmofix 24 let ex.	93,5	108,9
	CA13	Cor-ten A	99,3	-
	CA56	Cor-ten A	104,6	95
	CA57	Cor-ten A	109,1	103,5
	CA58	Cor-ten A	102,2	110,8
	CB13	Cor-ten B	104,1	-
	CB56	Cor-ten B	105,2	108,5
	CB57	Cor-ten B	108,3	105,7
	CB58	Cor-ten B	103,5	109,9

Tab. 6.20 Průměrná tloušťka suché vrstvy nátěrového systému Amercoat 450 S

Nátěrový systém	Číslo vzorku	Podkladový materiál	Průměrná tloušťka tloušťka [μm]	
			Přední strana	Zadní strana
Amerlock 400 Al	A21	Atmofix 24 let ex.	200,5	-
	A57	Atmofix 24 let ex.	195,2	191,7
	A58	Atmofix 24 let ex.	191,9	194,4
	A59	Atmofix 24 let ex.	185,4	189,8
	A60	Atmofix 24 let ex.	190,3	190,3
	CA21	Cor-ten A	188,0	-
	CA59	Cor-ten A	191,2	194
	CA60	Cor-ten A	193,4	189,2
	CA61	Cor-ten A	189,9	188,3
	CB21	Cor-ten B	200,0	-
	CB59	Cor-ten B	201,5	189,2
	CB60	Cor-ten B	208,5	187,5
	CB61	Cor-ten B	197,5	182,8

Tab. 6.21 Průměrná tloušťka suché vrstvy nátěrového systému Amerlock 400 Al

Nátěrový systém	Číslo vzorku	Podkladový materiál	Průměrná tloušťka tloušťka [μm]	
			Přední strana	Zadní strana
Amerlock 400 Color	A29	Atmofix 24 let ex.	197,9	-

Nátěrový systém	Číslo vzorku	Podkladový materiál	Průměrná tloušťka tloušťka [μm]	
			Přední strana	Zadní strana
Amerlock 400 Color	A53	Atmofix 24 let ex.	198,4	193,1
	A54	Atmofix 24 let ex.	190,1	192,4
	A55	Atmofix 24 let ex.	188,9	189,9
	A56	Atmofix 24 let ex.	197,6	189,6
	CA27	Cor-ten A	191,0	-
	CA62	Cor-ten A	209,2	205,2
	CA63	Cor-ten A	210	196,5
	CA64	Cor-ten A	205,3	199,5
	CB26	Cor-ten B	215,4	-
	CB62	Cor-ten B	201,2	192,1
	CB63	Cor-ten B	208,3	209,8
	CB64	Cor-ten B	211,2	195,8

Tab. 6.22 Průměrná tloušťka suché vrstvy nátěrového systému Amerlock 400 Color

6.8 Korozní zkouška v solné mlze dle ČSN ISO 9227

Vzorky byly vystaveny na stojánek a vloženy do korozní komory. Typ korozní komory Vötsch Industrietechnik. Vzorky byly umístěny tak, aby si navzájem nezacláněly a nedotýkaly se. V korozní komoře setrvaly po dobu 1 hod až 720 hod. Po vytažení z komory byly vzorky opláchnuty vodou a po dobu 24 hodin sušeny při okolní teplotě $T = 22\text{ °C}$ a vlhkosti 47%.

Koncentrace chloridu sodného v roztoku se pohybovala v rozmezí $50\text{ g/l} \pm 5\text{ g/l}$ při teplotě 25 °C . Ph roztoku chloridu sodného bylo v rozmezí 6,0 až 7,0.

Provozní podmínky korozní komory:

- tlak vzduchu 3 – 4 bar
- tlak vody 2,5 – 3 bar (max. 4 bar)
- průtok 0,45 l/hod
- teplota v komoře 35 °C
- teplota navlhčovače 55 °C

6.9 Atmosférická zkouška s postřikem solného roztoku dle ISO 11474

Atmosférická zkouška s postřikem solného roztoku byla provedena dle normy ISO 11474 *Corrosion of metals and alloys – Corrosion tests in artificial atmosphere – Accelerated outdoor test by intermittent spraying of a salt solution (Scab test)*.

Úkolem normy je zhodnotit korozní odolnost kovů při zrychlené atmosférické korozní zkoušce s postřikem roztoku chloridu sodného. Interval postřiku vzorků byl 2x týdně. Zkouška je vhodná pro porovnání ochranných systémů používaných na ochranu povrchu kovových materiálů.

Vzorky byly vystaveny na monitorovacím stojanu v prosinci 2009 v areálu VŠB – TU Ostrava. Celkově jde o tříletý cyklus vystavení při atmosférické korozi. Porovnávaly se čtyři nátěrové systémy aplikované na třech podkladových materiálech (viz kapitola 6.3). Pro postřik byl použit solný roztok posypové soli běžně používané pro úpravu vozovek v zimních měsících v Ostravě (viz příloha F - List technických údajů).

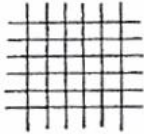


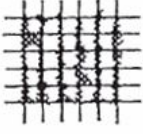
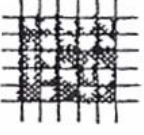
Solný roztok určený k postřiku se připravoval rozpuštěním posypové soli v destilované vodě o koncentraci $30 \text{ g/l} \pm 1 \text{ g/l}$ a pH roztoku bylo v rozmezí 6,0 až 7,0 při teplotě $25 \text{ °C} \pm 2 \text{ °C}$.

6.10 Mřížková zkouška dle ČSN EN ISO 16276 – 2

Mřížková zkouška byla provedena na vybraných referenčních vzorcích a na vzorcích vystavených korozním zkouškám. Na očištěný povrch nátěru bylo pomocí ostrého nože vytvořeno celkem 6 řezů v příčném a 6 řezů v podélném směru. Tyto řezy byly proříznuty až na základní materiál. Rozestup mezi jednotlivými řezy musí být stejný a volí se podle tloušťky nátěru dle ČSN EN ISO 2409 takto:

0 μm – 60 μm	1 mm rozestup, pro tvrdé podklady,
0 μm – 60 μm	2 mm rozestup, pro měkké podklady,
61 μm – 120 μm	2 mm rozestup, pro tvrdé i měkké podklady,
121 μm – 250 μm	3 mm rozestup, pro tvrdé i měkké podklady.

Po provedení řezů byla na povrch vzniklé mřížky přilepena samolepící páska o délce 75 mm a šířce 50 mm a lehkým dotykem přitlačena. Poté byla páska odstraněna pod úhlem 60° a následně se nalepila na bílý papír. Výsledky mřížkové zkoušky byly zapsány do tabulek 6.24, 6.25 a 6.26. Na každém vzorku byly provedeny celkem 4 mřížkové zkoušky a to dva z přední a dva ze zadní strany. Výsledky byly vyhodnoceny podle normy ČSN EN ISO 16276 – 2.[14]

Vzhled plochy					
Klasifikace	0	1	2	3	4

Klasifikace	Popis
0	Hrany řezů jsou zcela hladké; žádný čtverec mřížky není poškozen.
1	Malé kousky povlaku odloupnuty v místech křížení řezů. Poškozená plocha je menší než 5%.
2	Povlak se odlupuje podél řezů a/nebo v místech křížení řezů. Poškozená plocha je větší než 5%, ale menší než 15%.
3	Povlak se odlupuje podél řezů ve velkých pásech částečně nebo zcela, a/nebo se odlupuje částečně nebo zcela na různých místech čtverců. Poškozená plocha je větší než 15%, ale menší než 35%.
4	Povlak se odlupuje podél řezů ve velkých pásech zcela a/nebo některé čtverce jsou odloupnuty částečně nebo zcela. Poškozená plocha je větší než 35%, ale menší než 65%.
5	Jakýkoliv stupeň odlupování, který nemůže být klasifikován ani stupněm 4.

Tab. 6.23 – Klasifikace výsledků mřížkové zkoušky dle ČSN EN ISO 16276 – 2 [14]

Nátěrový systém	Číslo vzorku	Podkladový materiál	Klasifikace mřížky				Průměr
Amershield	A37	Atmofix 24 let ex.	5	5	3	2	3,75
Amershield	CA37	Cor-ten A	0	0	1	0	0,25
Amershield	CB37	Cor-ten B	0	0	0	0	0
Amercoat 450 S	A42	Atmofix 24 let ex.	1	0	1	2	1
Amercoat 450 S	CA42	Cor-ten A	0	0	0	0	0
Amercoat 450 S	CB42	Cor-ten B	1	0	1	1	0,75
Amerlock 400 Al	A47	Atmofix 24 let ex.	5	5	4	5	4,75
Amerlock 400 Al	CA47	Cor-ten A	2	3	2	3	2,5
Amerlock 400 Al	CB47	Cor-ten B	4	5	4	4	4,25
Amerlock 400 Color	A51	Atmofix 24 let ex.	4	3	3	2	3
Amerlock 400 Color	CA52	Cor-ten A	2	1	2	1	1,5
Amerlock 400 Color	CB52	Cor-ten B	1	3	2	3	2,25

Tab. 6.24 Výsledky mřížkové zkoušky u referenčních vzorků

Doba vystavení	Nátěrový systém	Číslo vzorku	Podkladový materiál	Klasifikace mřížky				Průměr
Po 120 hod.	Amerlock 400 Color	A53	Atmofix 24 let ex.	5	5	5	5	5
	Amerlock 400 Color	CA62	Cor-ten A	3	2	3	3	2,75
	Amerlock 400 Color	CB62	Cor-ten B	2	3	3	3	2,75
	Amerlock 400 Al	A57	Atmofix 24 let ex.	5	5	5	4	4,75
	Amerlock 400 Al	CA59	Cor-ten A	3	2	3	2	2,5
	Amerlock 400 Al	CB59	Cor-ten B	2	1	1	1	1,25
	Amercoat 450 S	A61	Atmofix 24 let ex.	4	4	5	4	4,25
	Amercoat 450 S	CA56	Cor-ten A	1	1	1	1	1
	Amercoat 450 S	CB56	Cor-ten B	1	1	1	1	1
	Amershield	A65	Atmofix 24 let ex.	5	5	5	5	5
	Amershield	CA53	Cor-ten A	2	0	0	0	0,5
	Amershield	CB53	Cor-ten B	0	0	0	0	0
Po 240 hod.	Amerlock 400 Color	A54	Atmofix 24 let ex.	5	5	5	5	5
	Amerlock 400 Al	A58	Atmofix 24 let ex.	5	5	5	5	5
	Amercoat 450 S	A62	Atmofix 24 let ex.	4	3	4	5	4
	Amershield	A66	Atmofix 24 let ex.	5	3	5	5	4,5
Po 480 hod.	Amerlock 400 Color	A55	Atmofix 24 let ex.	5	5	5	5	5
	Amerlock 400 Color	CA63	Cor-ten A	3	2	3	3	2,75
	Amerlock 400 Color	CB63	Cor-ten B	3	2	3	3	2,75
	Amershield	A68	Atmofix 24 let ex.	5	5	5	4	4,75
	Amershield	CA54	Cor-ten A	4	2	3	2	2,75
	Amershield	CB54	Cor-ten B	2	0	0	4	1,5
	Amerlock 400 Al	A59	Atmofix 24 let ex.	5	5	5	5	5
	Amerlock 400 Al	CA60	Cor-ten A	4	3	3	3	3,25
	Amerlock 400 Al	CB60	Cor-ten B	3	2	3	4	3
	Amercoat 450 S	A63	Atmofix 24 let ex.	4	5	4	4	4,25
	Amercoat 450 S	CA57	Cor-ten A	1	2	3	3	2,25
	Amercoat 450 S	CB57	Cor-ten B	1	2	2	1	1,5
Po 720 hod.	Amerlock 400 Color	A56	Atmofix 24 let ex.	5	5	5	5	5
	Amerlock 400 Color	CA64	Cor-ten A	4	4	3	4	3,75
	Amerlock 400 Color	CB64	Cor-ten B	4	4	4	4	4

Doba vystavení	Nátěrový systém	Číslo vzorku	Podkladový materiál	Klasifikace mřížky				Průměr
Po 720 hod.	Amerlock 400 Al	A60	Atmofix 24 let ex.	5	5	5	5	5
	Amerlock 400 Al	CA61	Cor-ten A	2	3	4	3	3
	Amerlock 400 Al	CB61	Cor-ten B	3	3	3	3	3
	Amercoat 450 S	A64	Atmofix 24 let ex.	5	4	5	5	4,75
	Amercoat 450 S	CA58	Cor-ten A	4	4	2	3	3,25
	Amercoat 450 S	CB58	Cor-ten B	4	4	3	3	3,5
	Amershield	A67	Atmofix 24 let ex.	5	5	5	5	5
	Amershield	CA55	Cor-ten A	4	4	1	1	2,5
	Amershield	CB55	Cor-ten B	1	1	0	0	0,5

Tab. 6.25 Výsledky mřížkové zkoušky u vzorků vystavených v korozní komoře

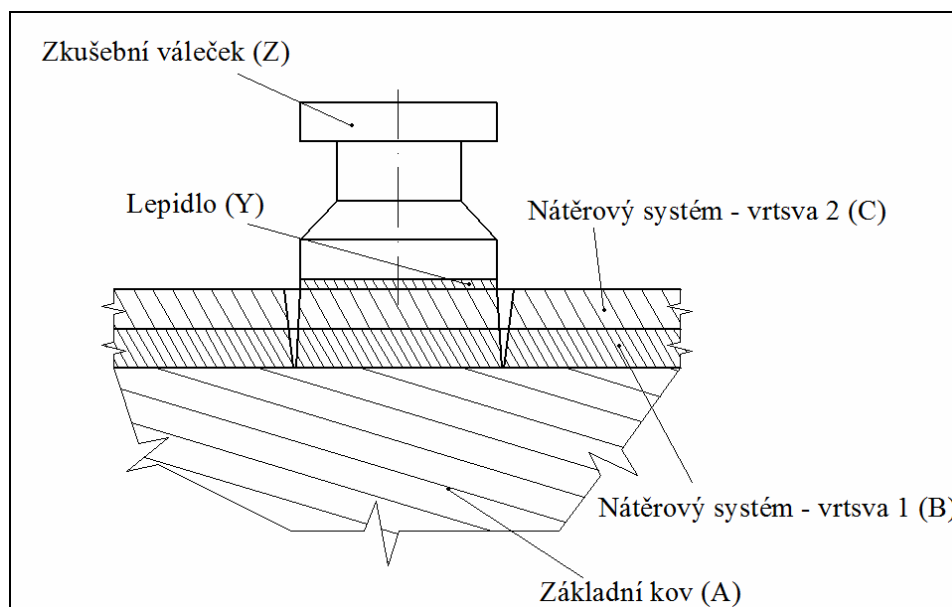
Nátěrový systém	Číslo vzorku	Podkladový materiál	Klasifikace mřížky		Průměr
Amershield	A5	Atmofix 24 let ex.	5	5	5
Amershield	CA05	Cor-ten A	0	0	0
Amershield	CB05	Cor-ten B	1	1	1
Amercoat 450 S	A13	Atmofix 24 let ex.	1	2	1,5
Amercoat 450 S	CA13	Cor-ten A	4	3	3,5
Amercoat 450 S	CB13	Cor-ten B	1	1	1
Amerlock 400 Al	A21	Atmofix 24 let ex.	5	5	5
Amerlock 400 Al	CA21	Cor-ten A	3	2	2,5
Amerlock 400 Al	CB21	Cor-ten B	4	4	4
Amerlock 400 Color	A29	Atmofix 24 let ex.	5	5	5
Amerlock 400 Color	CA27	Cor-ten A	4	4	4
Amerlock 400 Color	CB26	Cor-ten B	4	4	4

Tab. 6.26 Výsledky mřížkové zkoušky u vzorků vystavené postřiku soli po 1 roce

6.11 Odtrhová zkouška dle ČSN EN ISO 16 276 – 1

Na vzorky byly nalepeny čtyři zkušební válečky (dva z přední a dva ze zadní strany). Místa kde byly válečky nalepeny byly očištěny a zdrsňeny pomocí smirkového papíru s označením P220. Válečky byly přilepeny dvousložkovým epoxidovým lepidlem ARALDITE (ředící poměr 1:1) a po nanesení lepidla se nechaly vytvrdit po dobu 24 hodin na vzduchu při teplotě $T = 23^{\circ}\text{C}$ a vlhkosti 51% . Po vytvrzení se provedly odtrhové

zkoušky pomocí odtrhoměru Elcometer ADHESION TESTER N/mm² (MPa). Hodnotilo se minimální tahové napětí, které bylo zapotřebí k roztržení nejslabší fáze nebo složky (viz obr. 6.20) a charakteristika lomu. Jednotlivé naměřené hodnoty byly zapsány do tabulek 6.27, 6.28, 6.29, 6.30, 6.31 a 6.32. Naměřené hodnoty byly zprůměrovány dle normy ČSN EN ISO 16 276 – 1.[13]



Obr. 6.20 Příklad zkušebního uspořádání

Po zjištění odtrhových pevností se jednoduchým vztahem dopočítá odtrhová síla. Tato síla se vypočítá dle vztahu:

$$\sigma = \frac{4 \cdot F}{\pi \cdot D^2} \quad \Rightarrow \quad F = \frac{\sigma \cdot \pi \cdot D^2}{4} \quad (6.1)$$

σ ... odtrhová pevnost [MPa]

F ... odtrhová síla [N]

D ... průměr zkušebního válečku [mm]

Po odečtení odtrhových pevností se zjišťovala procentuální charakteristika lomu. To se provádí procentuálně. Adhezní lom vznikne v nejslabší složce mezi dvěma fázemi a kohezní lom v nejslabší složce jedné fáze.

- | | | |
|-----|---|--|
| A | = | kohezní lom v podkladu (kov) |
| A/B | = | adhezní lom mezi podkladem a prvním nátěrem |
| B | = | kohezní lom v prvním nátěru |
| B/C | = | adhezní lom mezi prvním nátěrem a druhým nátěrem |

C	=	kohezní lom v druhém nátěru
-/Y	=	adhezní lom mezi druhým nátěrem a lepidlem
Y	=	kohezní lom v lepidle
Y/Z	=	adhezní lom mezi lepidlem a zkušebním válečkem

Vzorek	Číslo odtrhu	Pevnost [MPa]	A	A/B	B	B/C	C	-/Y	Y	Y/Z
A37	1	2,5	60	40						
	2	2,5	30	60				10		
	3	4	60	30				20		
	4	4	25	15				60		
A42	1	4	60	35				5		
	2	4	50	25				25		
	3	3	45	50				5		
	4	2,5	25	35				40		
A47	1	2,5	35	65						
	2	2,5	30	70						
	3	3	35				10	55		
	4	3	30		10		10	50		
A51	1	5	70	35						5
	2	5	80	5	15					
	3	2,5	60				5	35		
	4	2	50	25			10	15		
CA37	1	5			35					65
	2	7,5			5	10		20		65
	3	7						70		30
	4	5						50		50
CB37	1	1						20		80
	2	10				40		10		50
	3	7						5		95
	4	5						5		95
CA42	1	7,5			15		80			5
	2	9			20		80			
	3	6			5		75			20
	4	8			30		60	10		
CB42	1	5		15			65			10
	2	5		25			65			10
	3	6					80			20
	4	9					70	10		20
CA47	1	5				100				
	2	5				65		35		
	3	4					60	40		
	4	5					65	35		
CB47	1	5			95			5		
	2	6			100					
	3	5					80	20		

Vzorek	Číslo odtrhu	Pevnost [MPa]	A	A/B	B	B/C	C	-/Y	Y	Y/Z
CB47	4	3					20	80		
CA52	1	5			50					50
	2	10			90					10
	3	5			60			5		35
	4	4			55			45		
CB52	1	9	30		70					
	2	7	35		65					
	3	7,5			60			40		
	4	5		30	30					40

Tab. 6.27 Výsledky odtrhů referenčních vzorků

Vzorek	Číslo odtrhu	Pevnost [MPa]	A	A/B	B	B/C	C	-/Y	Y	Y/Z
A53	1	4	40	45	15					
	2	4	40	50	5					5
	3	3	90	5	5					
	4	2,5	80		20					
A57	1	3	30		55	15				
	2	2,5	40		35					25
	3	2,5	40				60			
	4	2,5	50				50			
A61	1	4	90	5						5
	2	5	80	15	5					
	3	3	65		10					25
	4	3	80	10	10					
A65	1	4	95	2						3
	2	4	80	15	5					
	3	3	40	60						
	4	2	60	40						
CA53	1	7,5	95	5						
	2	7,5	95							5
	3	10		75	5					20
	4	10	10	70						20
CB53	1	6		5						95
	2	8		15						85
	3	10	75	5						20
	4	11	85					5		10
CA56	1	7		5	30			50		15
	2	6		20	30			45		5
	3	9			50	10		30		10
	4	9			30	10		60		
CB56	1	7,5		5	50					40
	2	5			5	25				70
	3	10			60	40				
	4	8			40	55				5
CA59	1	7,5			30	70				

Vzorek	Číslo odtrhu	Pevnost [MPa]	A	A/B	B	B/C	C	-/Y	Y	Y/Z
CA59	2	7			30	65				5
	3	7				10	30	60		
	4	6				20	30	50		
CB59	1	8			40	10				50
	2	9			50	40				10
	3	6			85	40				5
	4	7			80	20				
CA62	1	7			20	40		40		
	2	6			5	40		50		5
	3	6			10	20		70		
	4	6			20	5		70		5
CB62	1	6		95	5					5
	2	6		80	10					10
	3	7,5			10	90				
	4	7			5	90				5

Tab. 6.28 Výsledky odtrhů vzorků vystavených 120 hod. korozní zkoušky

Vzorek	Číslo odtrhu	Pevnost [MPa]	A	A/B	B	B/C	C	-/Y	Y	Y/Z
A54	1	5	70	20	10					
	2	4	80	20	10					
	3	3	80	20						
	4	3	70	30						
A58	1	4	30	20						50
	2	3	10	20						70
	3	3	80				20			
	4	3	75				10	15		
A62	1	1	80	15	5					
	2	1	85	10	5					
	3	3	90	5	5					
	4	2	60		40					
A66	1	2,5	70	25	5					
	2	2,5	65	30	5					
	3	4	90		10					
	4	4	80		10					

Tab. 6.29 Výsledky odtrhů vzorků vystavených 240 hod. korozní zkoušky

Vzorek	Číslo odtrhu	Pevnost [MPa]	A	A/B	B	B/C	C	-/Y	Y	Y/Z
A55	1	1,5	20	30	25	5				20
	2	2	30	65	5					
	3	1	35	60	5					
	4	1	30	60	10					
A59	1	1	10	65	25					
	2	1	15	75	10					
	3	1	35	60	5					

Vzorek	Číslo odtrhu	Pevnost [MPa]	A	A/B	B	B/C	C	-/Y	Y	Y/Z
A59	4	1	30	65	5					
A63	1	2	20	70	10					
	2	1	20	75	5					
	3	2	5	65	30					
	4	1	20	70	10					
A68	1	2,5	20	70	10					
	2	1	15	80	5					
	3	2	30	65	5					
	4	1	20	75	5					
CA54	1	6		100						
	2	5		95						5
	3	8		100						
	4	7		100						
CB54	1	6		100						
	2	7,5		90						10
	3	6		100						
	4	7		80				10		10
CA57	1	6		15			85			
	2	8		20			80			
	3	6				30	70			
	4	6		10		20	70			
CB57	1	5		10			80	10		
	2	6		20			80			
	3	7		20			80			
	4	7				40	50			10
CA60	1	7,5					75	10		15
	2	5					90	10		
	3	5					80	20		
	4	6					70	30		
CB60	1	5					95			5
	2	6					100			
	3	7,5					95	5		
	4	7,5		5			95			
CA63	1	7					100			
	2	6		10			90			
	3	7					90			10
	4	7					100			
CB63	1	5					95			5
	2	7,5					100			
	3	7					95			5
	4	6					100			

Tab. 6.30 Výsledky odtrhů vzorků vystavených 480 hod. korozní zkoušky

Vzorek	Číslo odtrhu	Pevnost [MPa]	A	A/B	B	B/C	C	-/Y	Y	Y/Z
A58	1	2	40		50			10		
	2	3	35		60		5			
	3	1	30	60	10					
	4	1	50	30	20					
A60	1	2	40	60						
	2	2	30	70						
	3	1	50	10	40					
	4	1	40	20	40					
A64	1	1	50	50						
	2	0,5	60	40						
	3	1	80	20						
	4	1		30	30		40			
A67	1	1,5	90	10						
	2	1	80	20						
	3	1	70	30						
	4	1	80	20						
CA55	1	5		100						
	2	5		100						
	3	5		100						
	4	5		100						
CA58	1	3		85	10			5		
	2	4		80	15			5		
	3	5			25			75		
	4	5			55			40		5
CA61	1	6					80	20		
	2	4					80	20		
	3	6					90	10		
	4	4					75	25		
CA64	1	5					80	20		
	2	5					100			
	3	6				10	90			
	4	5					95	5		
CB55	1	5		85				15		
	2	10		90						10
	3	6		100						
	4	4		100						
CB58	1	5		20	30		50			
	2	5		45			55			
	3	7		5	45		50			
	4	8		10	60		30			
CB61	1	4					60	40		
	2	6		5			85	10		
	3	3		15			80	5		
	4	5		10			90			
CB64	1	7					80	20		
	2	6					100			

Vzorek	Číslo odtrhu	Pevnost [MPa]	A	A/B	B	B/C	C	-/Y	Y	Y/Z
CB64	3	5					80	20		
	4	6		10		20	70			

Tab. 6.31 Výsledky odtrhů vzorků vystavených 720 hod. korozní zkoušky

Vzorek	Číslo odtrhu	Pevnost [MPa]	A	A/B	B	B/C	C	-/Y	Y	Y/Z
A5	1	5	50	50						
	2	3	30	50	20					
A13	1	5	60	40						
	2	5	50		50					
A21	1	3	60				40			
	2	3	50				50			
A29	1	3	60		40					
	2	3	80				15	5		
CA05	1	10			5		30	65		
	2	8			15		15	70		
CB05	1	8			20			10		70
	2	10						40		60
CA13	1	10		20				70		10
	2	13		10				90		
CB13	1	6		20			10	65		5
	2	8		30			20	50		
CA21	1	5					50	50		
	2	5					60	40		
CB21	1	6					80	20		
	2	5					70	30		
CA27	1	6			60		20	20		
	2	6			20		60	20		
CB26	1	7					70	10		20
	2	6			20		60	20		

Tab. 6.32 Výsledky odtrhů vzorků vystavených solnému postřiku

6.12 Hodnocení puchýřkování povrchu dle ČSN EN ISO 4628-2

Hodnocení puchýřkování povrchu nátěrových systémů se zkoumalo na všech vzorcích vystavených v korozní komoře. Jedná se o vizuální zkoušku, při které se hodnotí velikost a množství puchýřků vzniklých na povrchu nátěru. Klasifikace probíhala dle normy ČSN EN ISO 4628-2 pomocí referenčních obrázků.[15] Vzorky byly vystaveny v korozní komoře po dobu 1 – 720 hod. Pro hodnocení puchýřků vzniklých na povrchu nátěrů jsem zvolil dobu vyhodnocení 24, 72, 120, 240, 360, 528, 600 a 720 hod. Záznam o provedení zkoušek a vzhledu povrchu zkoušených materiálu je zaznamenán v příloze G. V tabulce 6.33 jsou vyhodnoceny jednotlivé stupně puchýřkování vzniklé na zkoušených

vzorcích. Místy se na vzorcích vytažených z korozní komory usadila po oplachu zkondenzovaná sůl. Tento fakt lze pozorovat na obrázku 1.a v příloze G – obrázky vývoje vzniku puchýřků na vzorcích z korozní komory.

Doba vystavení [hod]	Amercoat 450 S	Amerlock 400 Al	Amerlock 400 Color	Amershield
24 hod.	-	-	-	-
72 hod.	3(S2)	-	-	-
120 hod.	4(S2)	-	-	2(S2)
240 hod.	5(S2)	-	-	3(S2)
360 hod.	5(S3)	2(S2)	-	4(S3)
528 hod.	5(S3)	3(S2)	-	5(S3)
600 hod.	5(S3)	3(S3)	2(S4)	5(S3)
720 hod.	5(S3)	3(S3)	2(S4)	5(S3)

Tab. 6.33 Stupeň puchýřků u jednotlivých nátěrových hmot

6.13 Zkouška řezem dle ČSN EN ISO 4628-8

Jedná se o vizuální zkoušku povrchu materiálu, při které se na povrchu vzorku vytvoří (vyřeže) ostrým nožem do nátěru vodorovný řez. Zkouška řezem se prováděla na čtyřech vzorcích označených jako A69, A70, A71 a A72. Následně se vzorky nechaly po dobu 450 hod. v korozní komoře a poté se vyhodnotily. Hodnotil se celkový vzhled koroze dle obrázkových standardů v časovém intervalu 0, 24, 120, 264, 354 a 450 hod. Vzorky byly vyfoceny a zaznamenány do přílohy H - Obrázky zkoušky řezem u vzorků typu Atmosfix. Klasifikace probíhala dle normy ČSN EN ISO 4628-8.[16]

Doba vystavení [hod]	Amercoat 450 S	Amerlock 400 Al	Amerlock 400 Color	Amershield
0	0	0	0	0
24	1	1	1	1
120	2	1	2	1
264	2	1	2	1
354	3	1	2	1
450	3	1	2	1

Tab. 6.34 Klasifikace zkoušky řezem

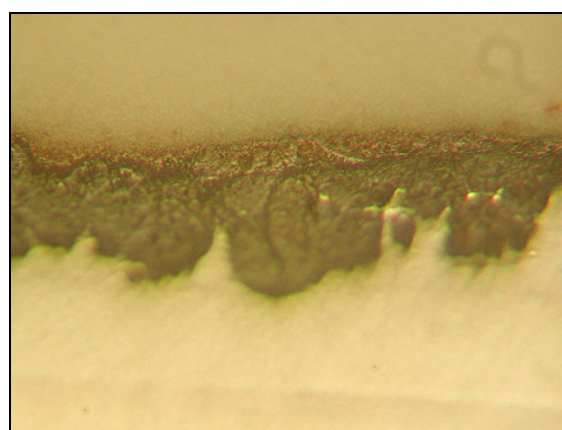
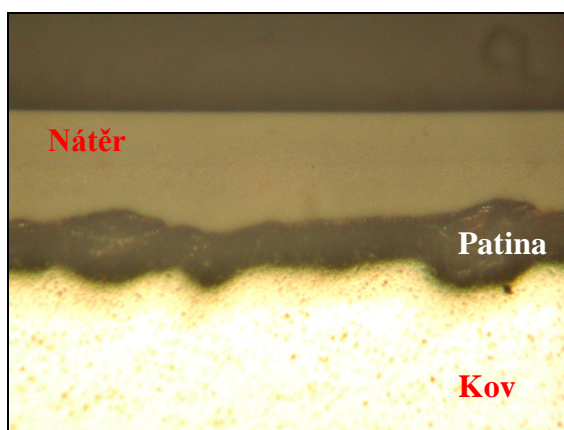
6.14 Mikrovýbrus vzorků

Mikrovýbrus vzorků se prováděl na referenčních vzorcích. Z kontrolovaných vzorků A8, A16, A24, A32, CA16, CB16, CA32 a CB 25 byl vyříznut jeden menší vzorek kotoučovou bruskou Struers s kotoučem 51UNI. Tyto vzorky byly upnuty do upínky. Po upnutí byly vzorky broušeny na smirkových papírech o zrnitosti P220, P400, P800, P1200, P2500 na brusce Motasimex. Poté byly přeleštěny korundovací leštící pastou (Al_2O_3) na leštičce Montasupal.

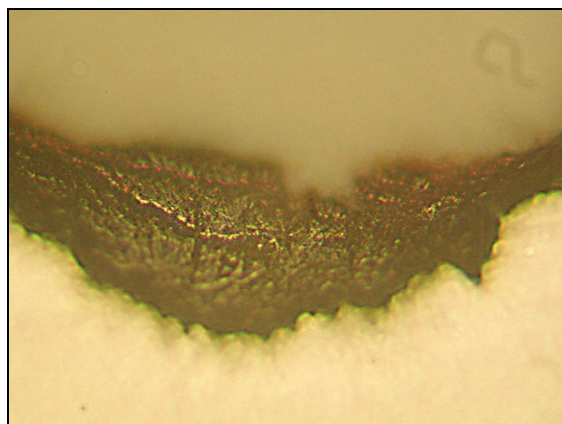
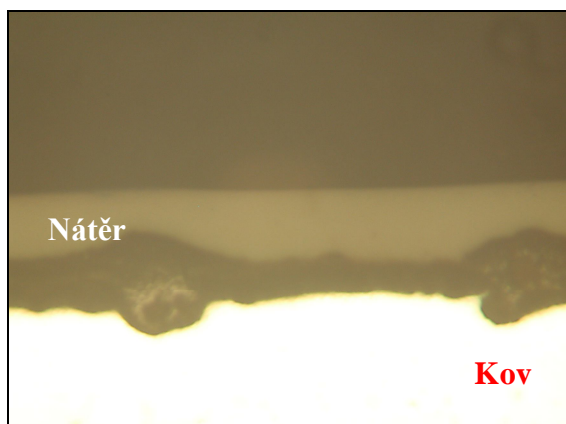
Po vybroušení a vyleštění se vzorky umístily na mikroskop typu Neophot 2 (viz obr. 6.21), kde se provedly fotografie se zvětšením 100x, 200x a 500x.



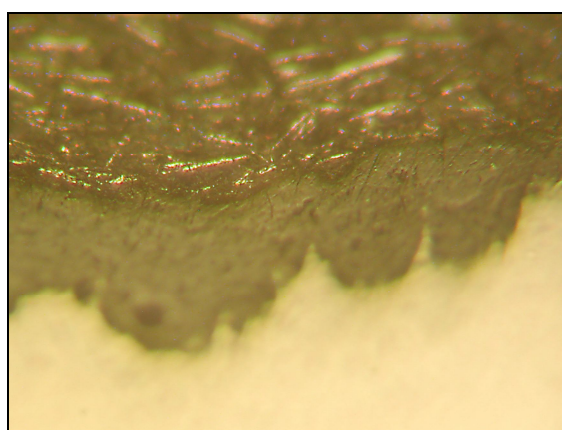
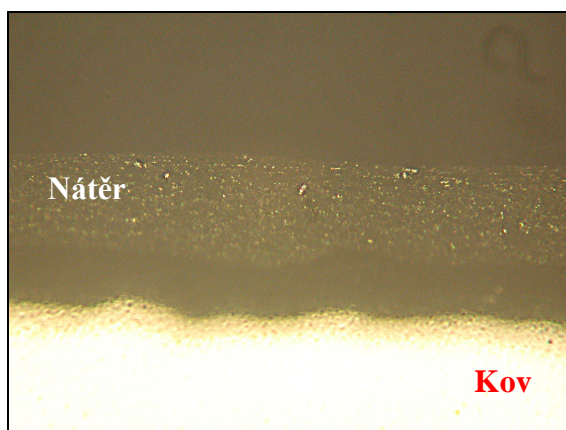
Obr. 6.21 Neophot 2



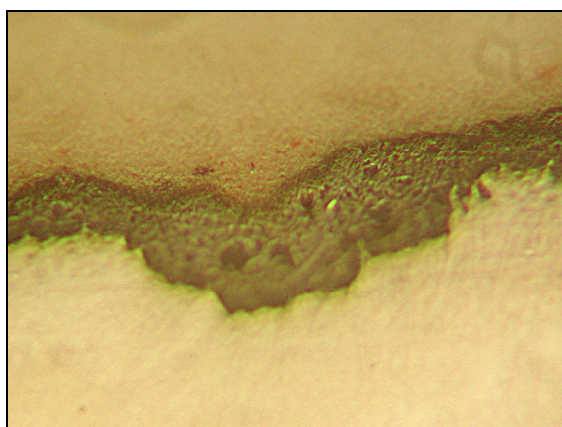
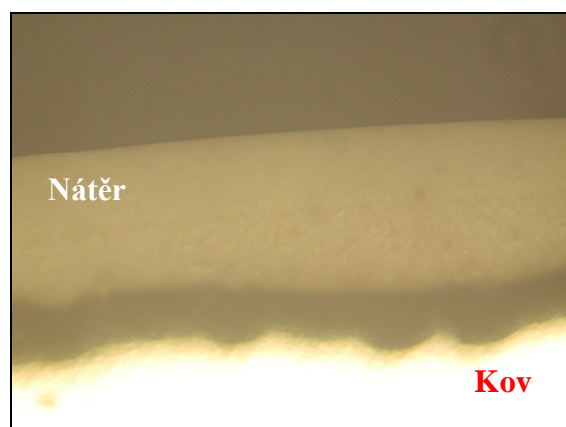
Obr. 6.22 Řez vzorkem A8 a) zvětšení 100x b) zvětšení 500x



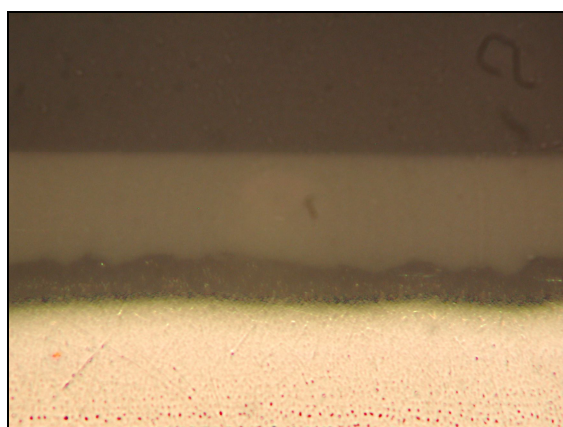
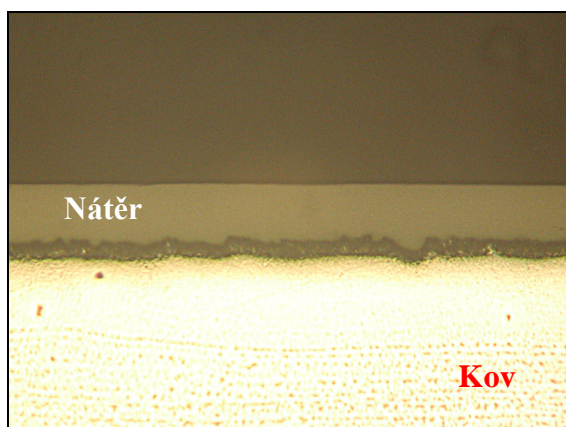
Obr. 6.23 Řez vzorkem A16 a) zvětšení 100x b) zvětšení 500x



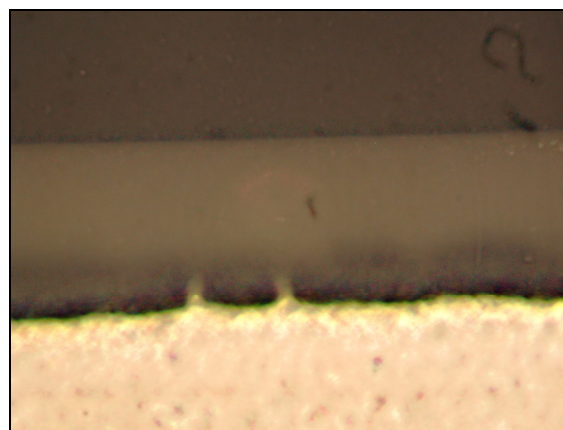
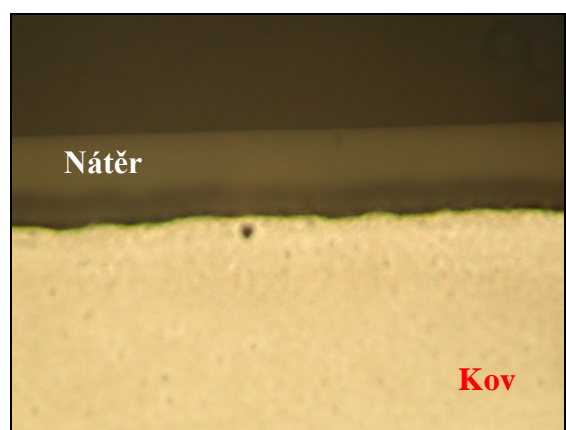
Obr. 6.24 Řez vzorkem A24 a) zvětšení 100x b) zvětšení 500x



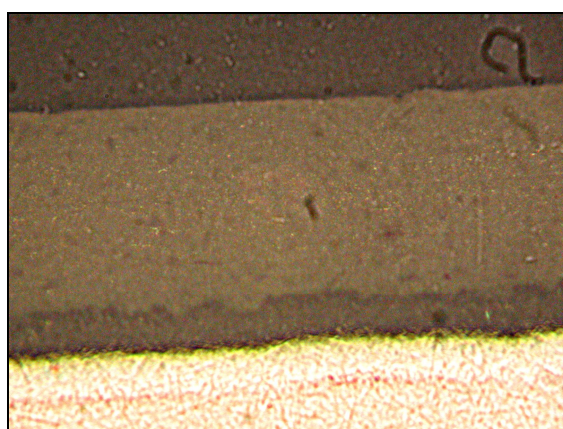
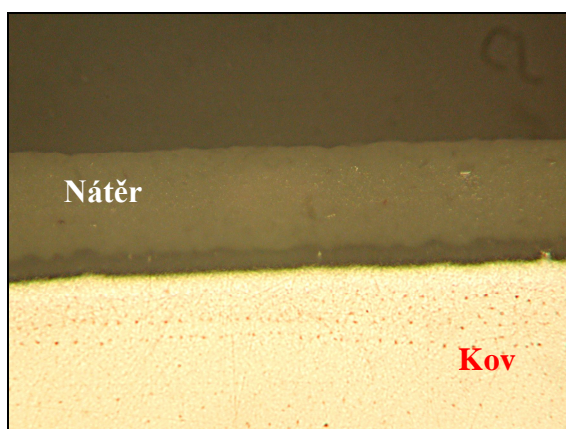
Obr. 6.25 Řez vzorkem A32 a) zvětšení 100x b) zvětšení 500x



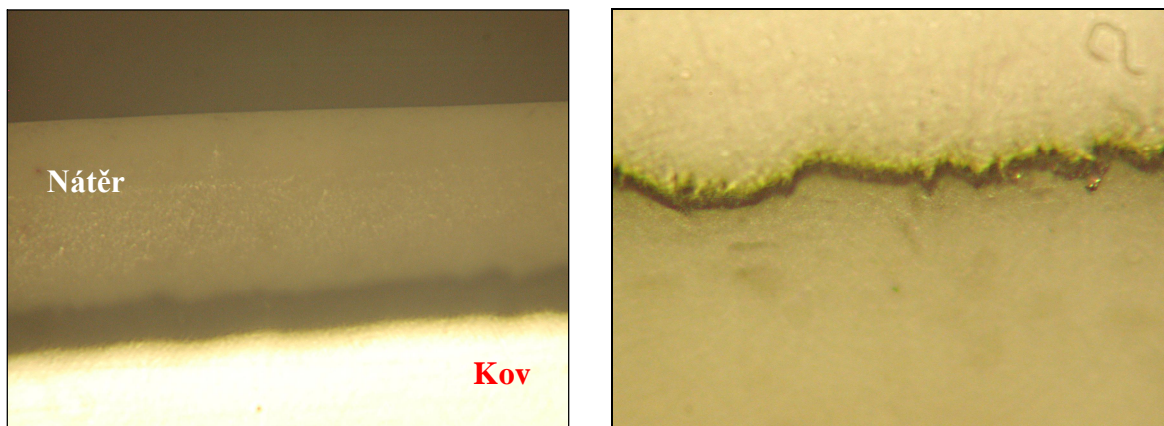
Obr. 6.26 Řez vzorkem CA16 a) zvětšení 100x b) zvětšení 200x



Obr. 6.27 Řez vzorkem CB16 a) zvětšení 100x b) zvětšení 200x



Obr. 6.28 Řez vzorkem CA32 a) zvětšení 100x b) zvětšení 200x



Obr. 6.29 Řez vzorkem CB25 a) zvětšení 100x b) zvětšení 500x

Mikrosnímek znázorňuje přechod nátěr – podkladový materiál. Vzorky typu Atmofix obsahují na povrchu podkladového materiálu patinu. Vrchní část fotografie vyobrazuje nátěr a spodní podkladový materiál. Barevné odlesky na rozhraní nátěr – podkladový materiál jsou korozní zplodiny. Tento jev lze dobře zaznamenat na A24, kde spodní část fotografie je podkladový materiál, následná vrstva je patina a poslední vrstva je svrchní nátěrový systém Amerlock 400 Al, ve kterém lze zaznamenat jednotlivé částičky hliníku. Nedokonalé přilnutí nátěrového systému k podkladu může mít za následek odtrhávání barvy a vznik prasklin v nátěr. Na obrázcích 6.26 až 6.29 lze zaznamenat vrstvu mezi nátěrem a kovem. Nejedná se však o korozní vrstvu. Vlivem upnutí do upínky a vybroušení, docházelo u vzorků k lehkému odchlípnutí nátěru od podkladového kovu.

7 HODNOCENÍ EXPERIMENTÁLNÍCH ZKOUŠEK

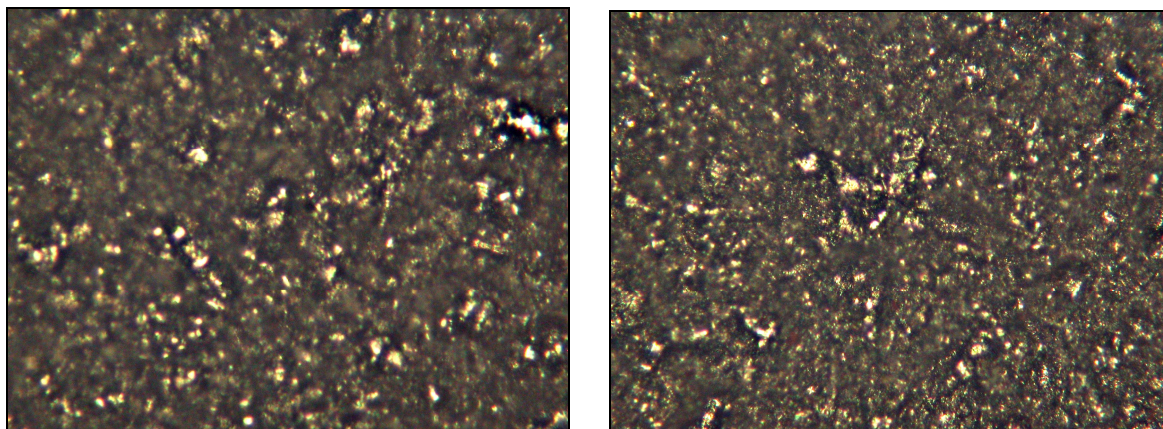
Na vzorcích byly provedeny zkoušky dle výše uvedených norem. Všechny naměřené hodnoty byly zapsány do tabulek, případě zprůměrnovány. V následující části jsou naměřená data vyhodnocována a porovnávána. Data jsou zpracována do grafů a je zde vyvozen závěr z naměřených hodnot.

7.1 Hodnocení povrchu materiálu

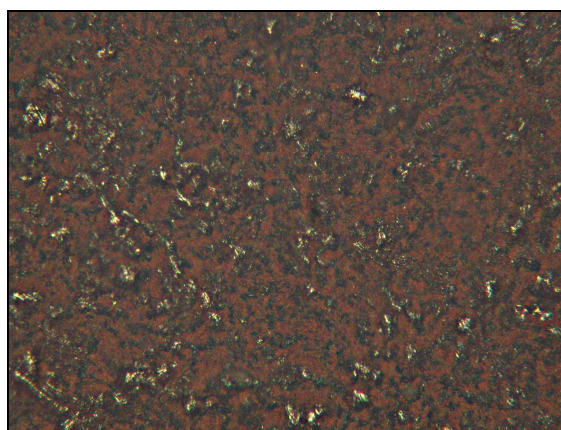
Vzorky typu Cor-ten A a Cor-ten B byly očištěny od nečistot pomocí otryskávání povrchu, vzorky typu Atmofix exponované 24 let byly okartáčovány. Všechny vzorky byly podrobeny zkouškám hodnocení povrchu materiálu. Povrch vzorků typu Cor-ten A a Cor-

ten B vykazovaly zaprášenost povrchu stupeň č.1. Velikost částic se pohybovala do 50 μ m. Vzorky typu Atmosfix vykazovaly vysoký stupeň zaprášenosti z důvodu vzniklé patiny na povrchu materiálu. Velikost částic se pohybovala v rozmezí 0,5 - 2,5 mm. Drsnost byla měřena přístrojem Mitutoyo Surftest – 301 a to před natřením povrchu barvou. Na každém typu vzorku byl pořízen makrosnímek povrchu ve zvětšení 100x na přístroji Neophot 2. Na obrázku jsou patrné bílé vrcholy a černé prohlubně (viz obr. 7.1). Na tomto povrchu byl také zaznamenán kotvící profil (viz obr. 7.3, obr. 7.4 a obr. 7.5).

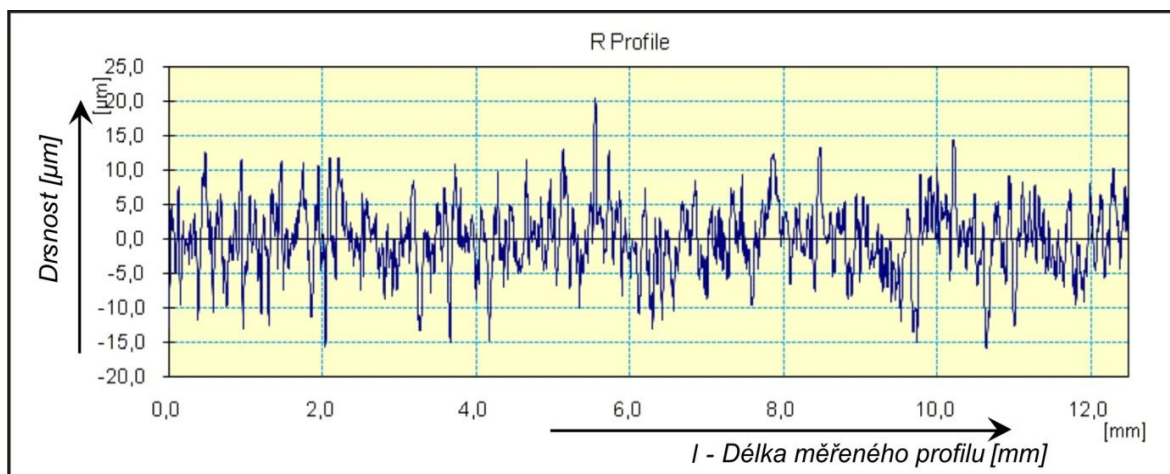
Výsledné naměřené hodnoty u vzorku Cor-ten A byly $R_a = (3,65 \pm 0,20) \mu\text{m}$, $R_z = (27,23 \pm 2,99) \mu\text{m}$, Cor-ten B $R_a = (3,74 \pm 0,20) \mu\text{m}$, $R_z = (27,07 \pm 1,33) \mu\text{m}$ a Atmosfix $R_a = (7,00 \pm 0,53) \mu\text{m}$, $R_z = (44,27 \pm 6,00) \mu\text{m}$. Drsnost povrchu závisí na velikosti, tvaru, tvrdosti otryskávacího média a úhlu, pod kterým je tryskávací médium vrháno.



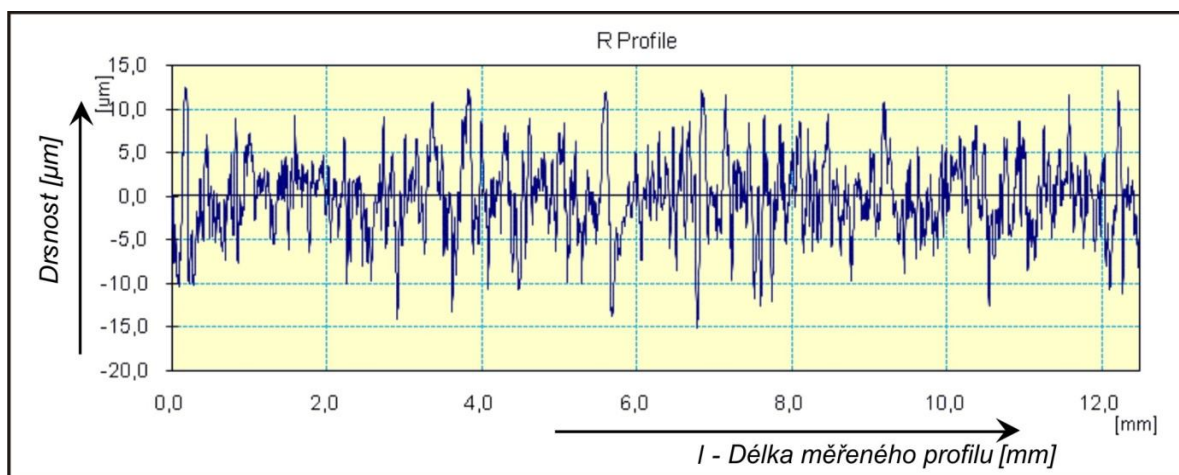
Obr. 7.1 Makrosnímek povrchu materiálu a) Cor-ten A ve zvětšení 100x b) Cor-ten B ve zvětšení 100x



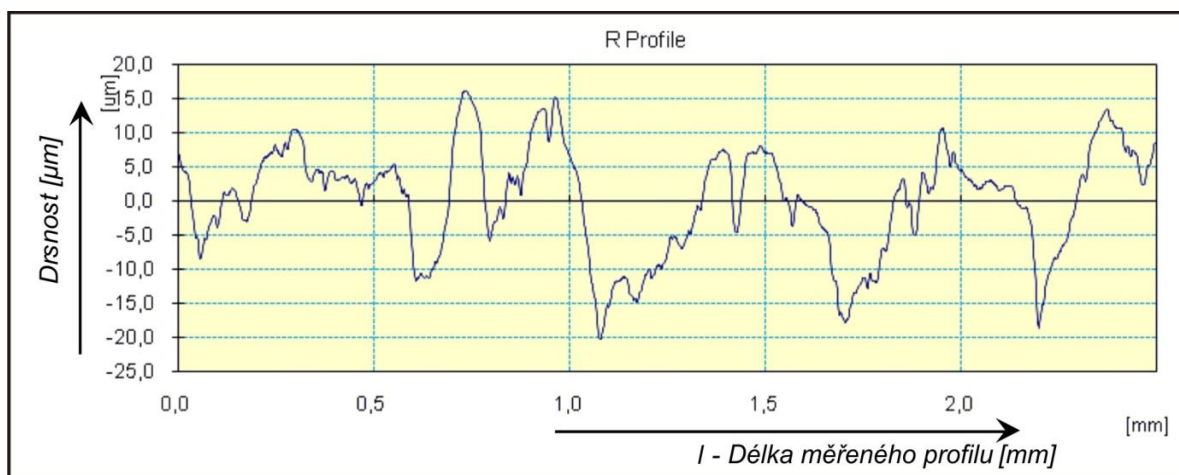
Obr. 7.2 Makrosnímek povrchu materiálu Atmosfix ve zvětšení 100x



Obr. 7.3 Profil drsnosti vzorku Cor-ten A $R_a = (3,65 \pm 0,20) \mu\text{m}$, $R_z = (27,23 \pm 2,99) \mu\text{m}$



Obr. 7.4 Profil drsnosti vzorku Cor-ten B $R_a = (3,74 \pm 0,20) \mu\text{m}$, $R_z = (27,07 \pm 1,33) \mu\text{m}$



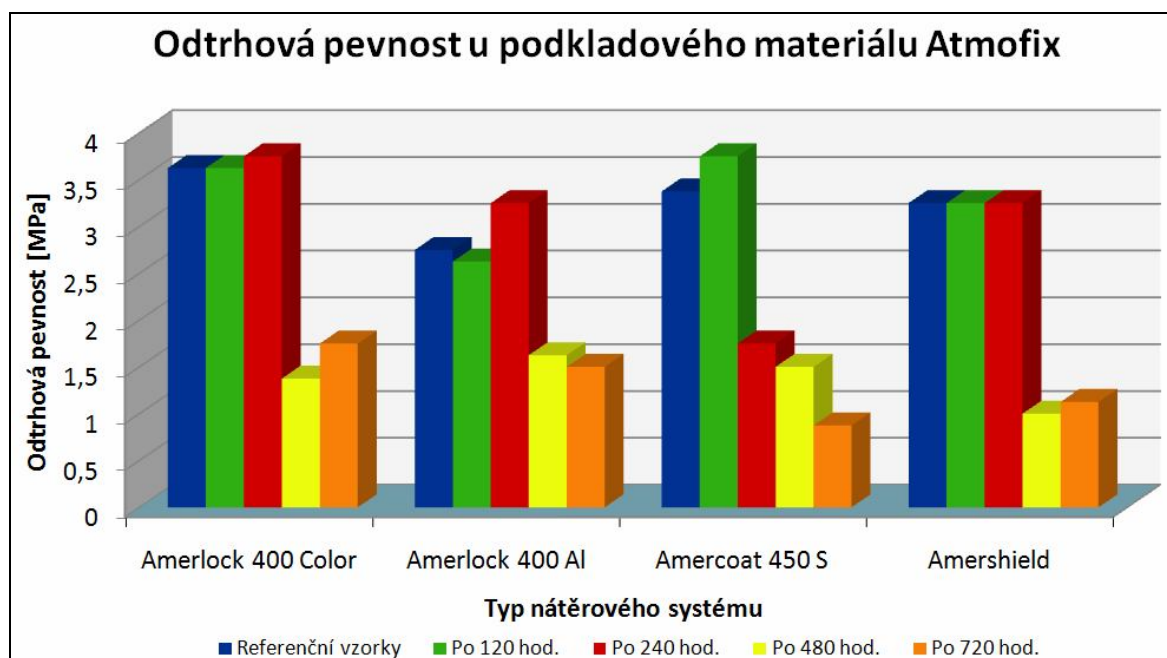
Obr. 7.5 Profil drsnosti vzorku Atmosfix $R_a = (7,00 \pm 0,53) \mu\text{m}$, $R_z = (44,27 \pm 6,00) \mu\text{m}$

7.2 Hodnocení nátěrů

Zkoušeny byly čtyři typy nátěrové systémy. Každý nátěr byl aplikován na tři typy pokladových materiálů. Následně nátěry byly vyhodnoceny.

7.2.1 Hodnocení odtrhové pevnosti barev

Zjištěná data byla vyhodnocena a zpracována do grafů. U všech vzorků byly provedeny celkem 4 odtrhy a následně tyto odtrhy byly zapsány do tabulky v kapitole 6.11. U vzorků vystavených zkoušce postřiku soli byly provedeny 2 odtrhy a to pouze z přední strany. Hodnoty odtrhů byly následně zprůměrovány a vykresleny do grafů. Na grafu 7.1 je zobrazeno odtrhová pevnost každého nátěrového systému naneseného na ocel typu Atmofix v závislosti na době vystavení v korozní komoře.

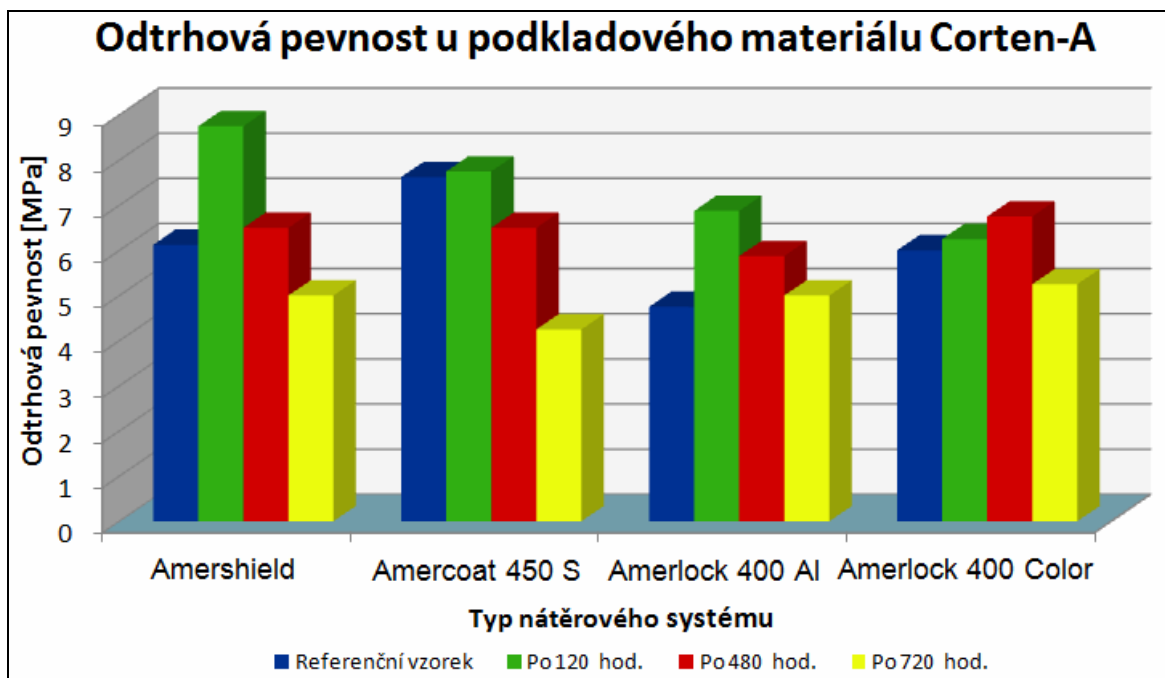


Graf 7.1 Odtrhové pevnosti oceli typu Atmofix s patinou zjištěných u nátěrových systémů

Z grafu 7.1 je patrné, že všechny nátěry vykazovaly vyšší odtrhové pevnosti do doby vystavení 240 hod. Kromě nátěrového systému Amercoat 450S, kdy docházelo už k významnému snížení odtrhové pevnosti a to o 2 MPa. Možnou příčinou je nízká přilnavost základní fáze A (vrstva patiny). Docházelo téměř z 90% k čistému odtrhu v této fázi. Po 480 hod. vystavení již docházelo u všech nátěrových systémů k snížení odtrhové pevnosti v několika případech až o 3 MPa. Naměřené hodnoty byly částečně ovlivněny odtrhem ve fázi Y (odtrh v lepidle), avšak tento jev nastal pouze v 10 - 15% .

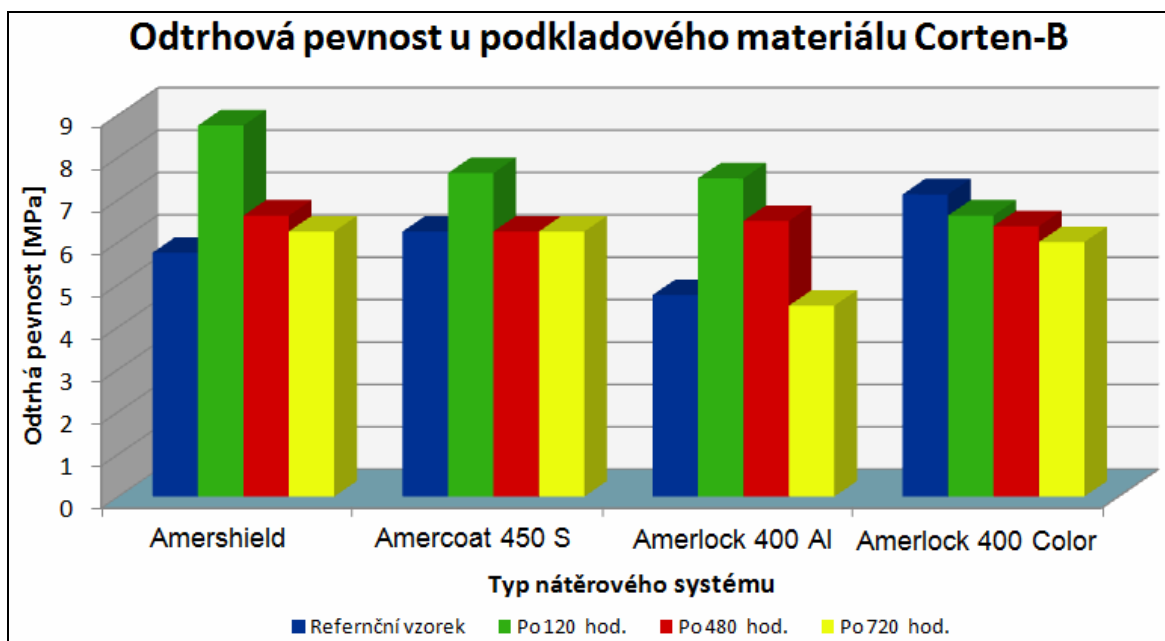
Další graf 7.2 zobrazuje odtrhové pevnosti oceli typu Cor-ten A. Nátěrové systémy použité u podkladového materiálu Cor-ten A vykazovaly vysoké odtrhové pevnosti.

Všechny zkoušené nátěrové systémy dobře přilnuly k podkladovému kovu. Průměrně nejlepší odtrhové pevnosti byly zaznamenány u nátěrového systému Amershield a Amercoat 450 S. S dobou vystavení se hodnota odtrhových pevností snižovala na průměrnou hodnotu 5 MPa. K odtrhům docházelo z 80% ve fázích B a C. Naměřené hodnoty byly částečně ovlivněny odtrhem ve fázi Y (odtrh v lepidle), avšak tento jev nastal pouze v 15 - 20% .

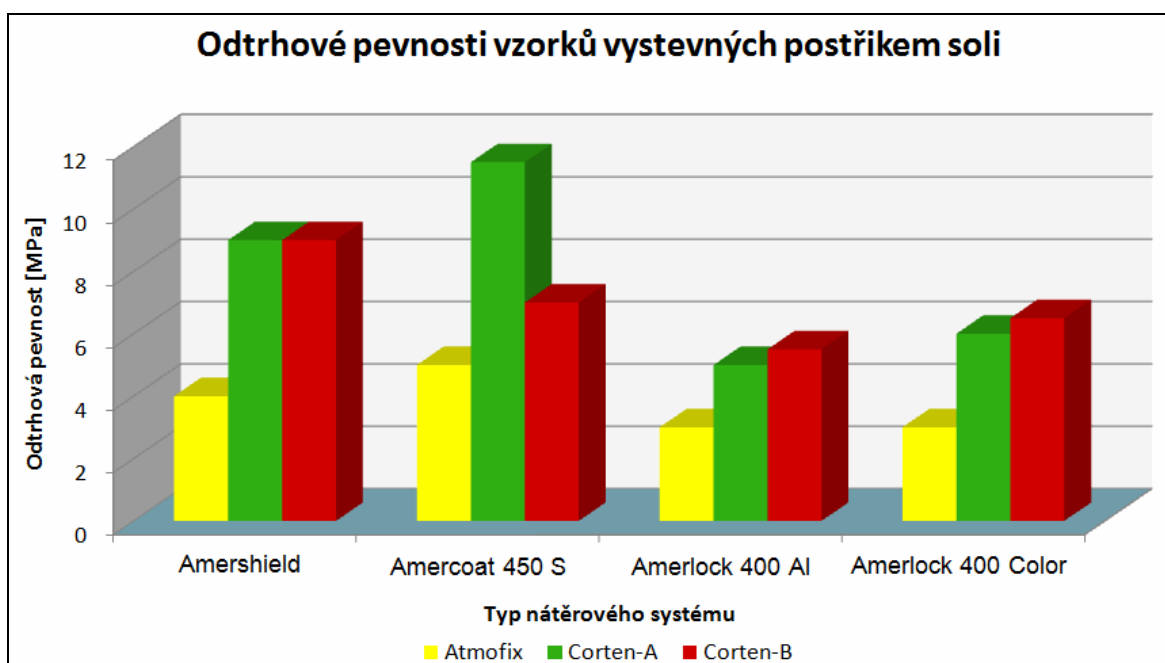


Graf 7.2 Odrhové pevnosti otryskávané oceli typu Cor-ten A zjištěných u nátěrových systémů

Podobné výsledky jako u podkladového materiálu Cor-ten A byly zjištěny u podkladového materiálu Cor-ten B. Také tady vzorky vykazovaly vysoké odtrhové pevnosti (průměrně přes 7 MPa). Při zkoušce docházelo k odtrhům především ve fázích B a C. V menším počtu docházelo k odtrhu ve fázi Y. Stejně jako u Cor-ten A přilnuly nátěrové systémy dobře ke Cor-ten B.



Graf 7.3 Odrhové pevnosti oceli typu Atmosfix s patinou zjištěných u nátěrových systémech

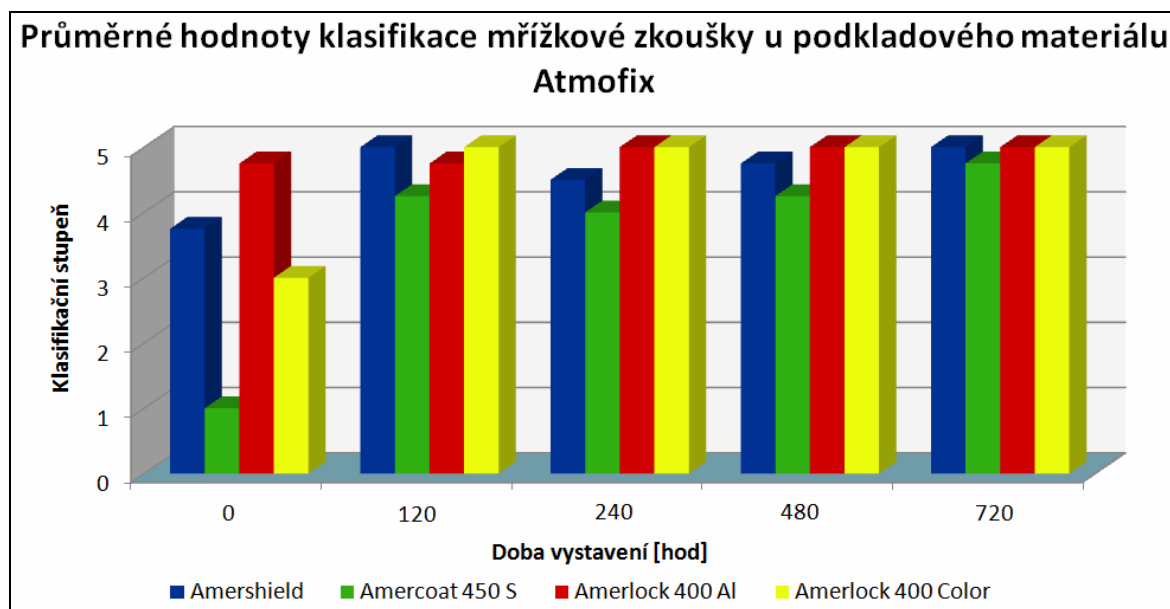


Graf 7.4 Odrhové pevnosti vzorků vystavených postřikem soli

Na grafu 7.4 jsou zobrazeny odtrhové pevnosti vzorků, které byly vystaveny postřikem soli od prosince 2009. Nejvyšších odtrhových pevností dosáhly nátěrové systémy Amershield a Amercoat 450 S. U podkladového materiálu typu Atmosfix se odtrhové pevnosti pohybovaly kolem 4 MPa. Corten A a Corten B vykazovaly vysoké odtrhové pevnosti nad 6 MPa. V jednom případě 13 MPa. Lze konstatovat, že dané nátěrové systémy dobře přilnuly k povrchu kromě podkladového materiálu Atmosfix. Nátěrové systémy Amerlock 400 Al a Amerlock 400 Color již vykazovaly snížené odtrhové pevnosti od 2 do 6 MPa.

7.2.2 Hodnocení mřížkové zkoušky

Zjištěná data byla vyhodnocena a zpracována do grafů. U všech vzorků byly provedeny celkem 4 mřížkové zkoušky, které byly zapsány do tabulek v kapitole 6.10. U vzorků vystavených zkoušce postřiku soli se prováděly pouze 2 mřížkové zkoušky a to z přední strany. Zjištěné hodnoty byly následně zprůměrovány a vykresleny do grafů. Na grafu 7.5 je vyobrazena průměrná hodnota pro každý typ nátěrového systému v závislosti na době vystavení v korozní komoře u podkladového materiálu Atmofix.



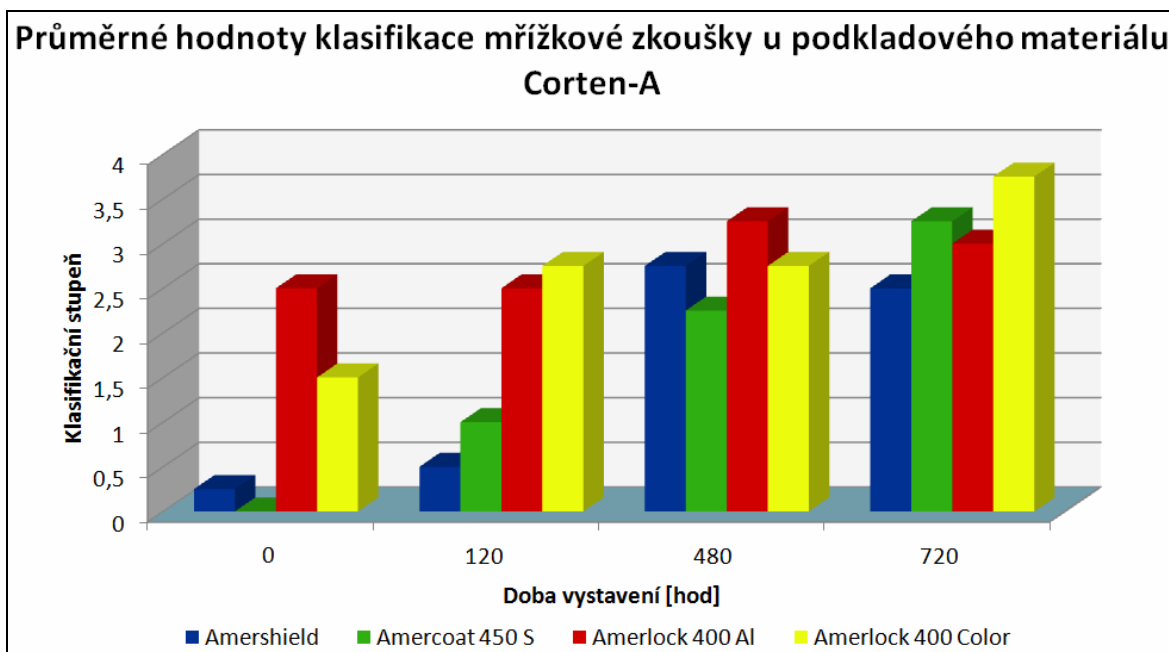
Graf 7.5 Klasifikace mřížkové zkoušky u oceli typu Atmofix s patinou

Z grafu 7.5 je patrné, že se příliš neosvědčil ani jeden z nátěrových systémů. Po vystavení vzorků korozním zkouškám došlo ke snížení přilnavosti. Nicméně, nátěrový systém Amerlock 400 Al, vykazoval již u referenčních vzorků slabou přilnavost. U všech nátěrových systémů docházelo k vysokému poškození čtverců mřížky a to o více jak 65%. Nejlépe přilnul k povrchu ze zkoušených nátěrových systémů Amercoat 450 S a Amershield, avšak jejich výsledky se příliš nelišily od ostatních dvou nátěrových systémů.

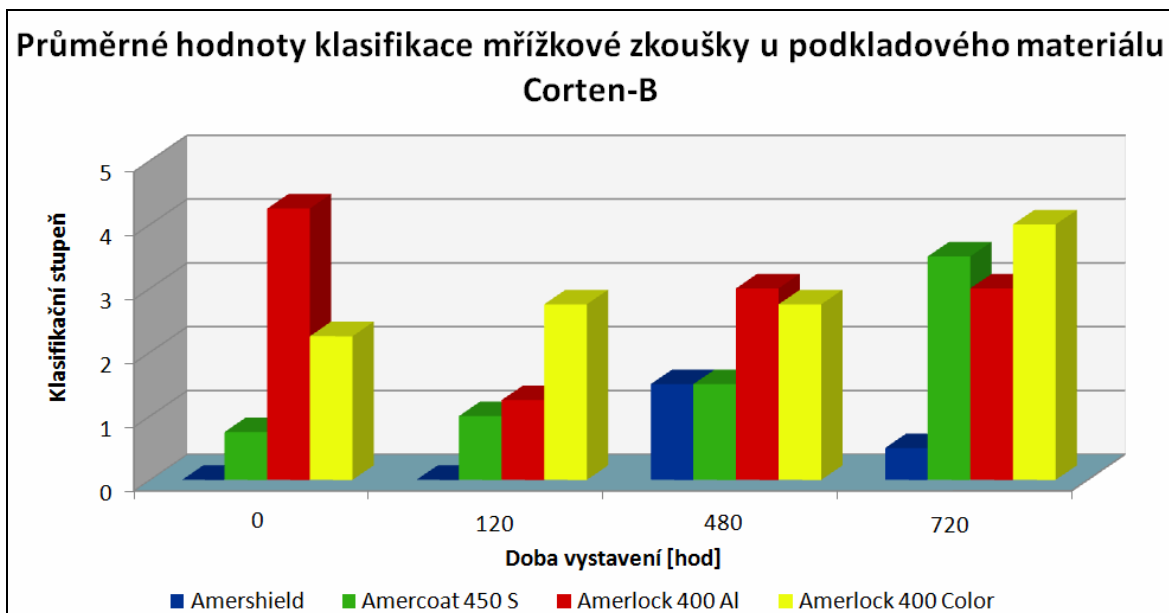
Ze čtyř zkoušených nátěrů, které byly aplikovány na referenční vzorky u podkladového materiálu typu Atmofix, dosáhl nejlepších výsledků nátěrový systém Amercoat 450 S, který jako jediný vykazoval poškození plochy méně než 5%.

Mřížková zkouška byla provedena u podkladového materiálu Cor-ten A a Cor-ten B. Vlivem povrchové úpravy povrchu vzorků (otryskáváním povrchu) byly zjištěné výsledky příznivější. Stejně jako u podkladového materiálu Atmofix, nejlepších výsledků dosáhly nátěrové systémy Amershield a Amercoat 450 S. S dobou vystavení korozní

zkoušce se přilnavost snižovala. Špatně k podkladovému materiálu přilnuly nátěrové systémy Amerlock 400 Al a Amerlock 400 Color. Docházelo k poškození čtverců mřížky od 35% do 65%.



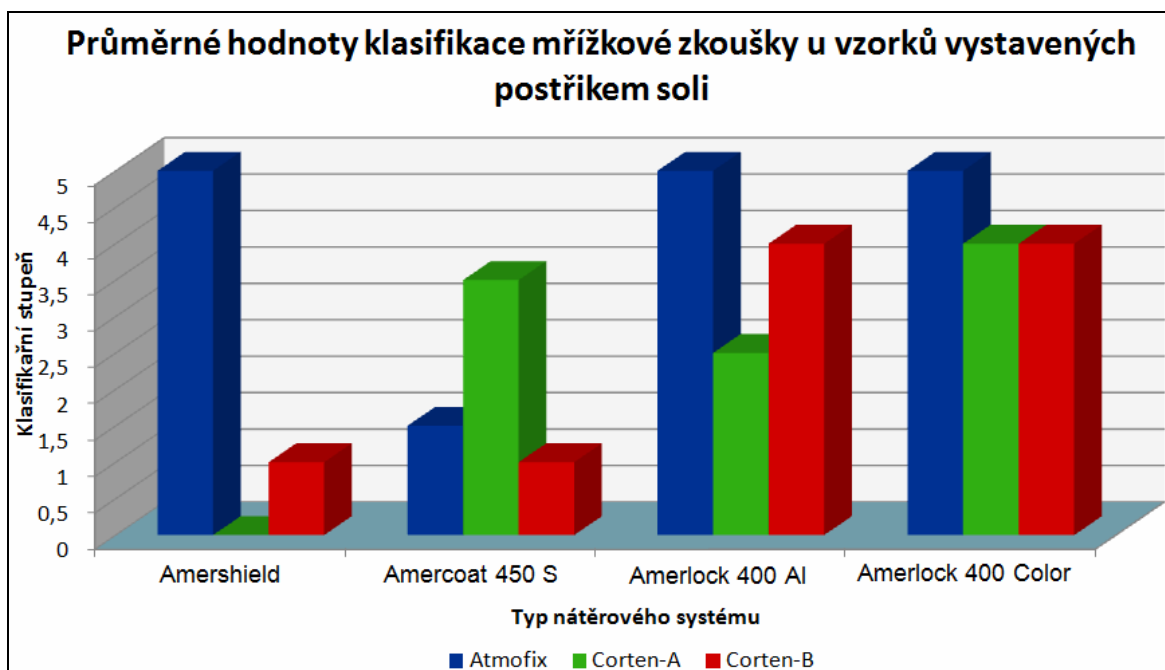
Graf 7.6 Klasifikace mřížkové zkoušky u otryskávané oceli typu Cor-ten A



Graf 7.7 Klasifikace mřížkové zkoušky u otryskávané oceli typu Cor-ten B

U podkladového materiálu Cor-ten B byla zaznamenána vysoká přilnavost nátěrových hmot. Podobně jako u Cor-ten A nejlepších hodnot dosahovaly nátěrové hmoty Amershield a Amercoat 450 S. Nejnižších přilnavosti dosáhl Amerlock 400 Al. Příčina

nízké přilnavosti může být ve vysokém obsahu sušiny. Docházelo k poškození čtverců mřížky do 65%.



Graf 7.8 Klasifikace mřížkové zkoušky u vzorků vystavených postřiku soli

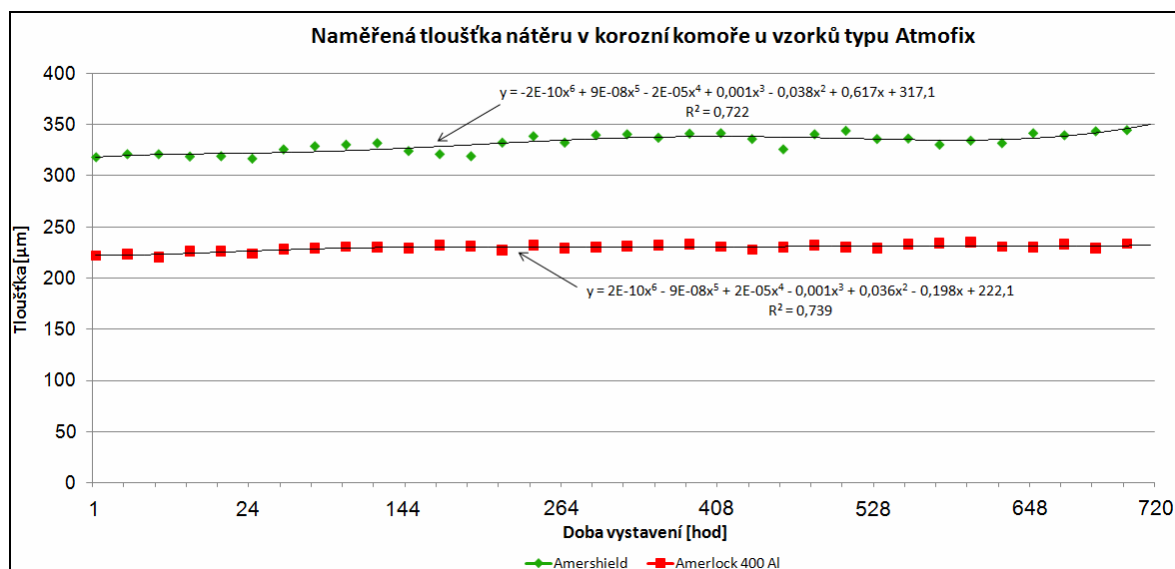
Vzorky vystavené zkoušce postřiku soli měly následující hodnocení. Z grafu 7.8 je patrné, že u podkladových materiálů typu Cor-ten A a Cor-ten B se osvědčily nátěrové systémy Amershield a Amercoat 450 S, kde hrany řezů se odlupovaly v místě křížení. Maximální plocha poškození se pohybovala do 15%. Naopak nejnižší přilnavost byla zaznamenána u oceli typu Atmofix, u které docházelo k vysokému poškození čtverců mřížky a to o více jak 65%. Z nátěrových systémů u podkladového materiálu typu Atmofix nejlépe přilnul Amercoat 450 S. Mřížková zkouška byla klasifikována do stupně 2. Poškozená plocha byla větší než 5%, ale menší než 15%.

Nátěrové systémy Amerlock 400 Al a Amerlock 400 Color se příliš neosvědčily. Docházelo k vysokému poškození čtverců mřížky místy o více jak 65%.

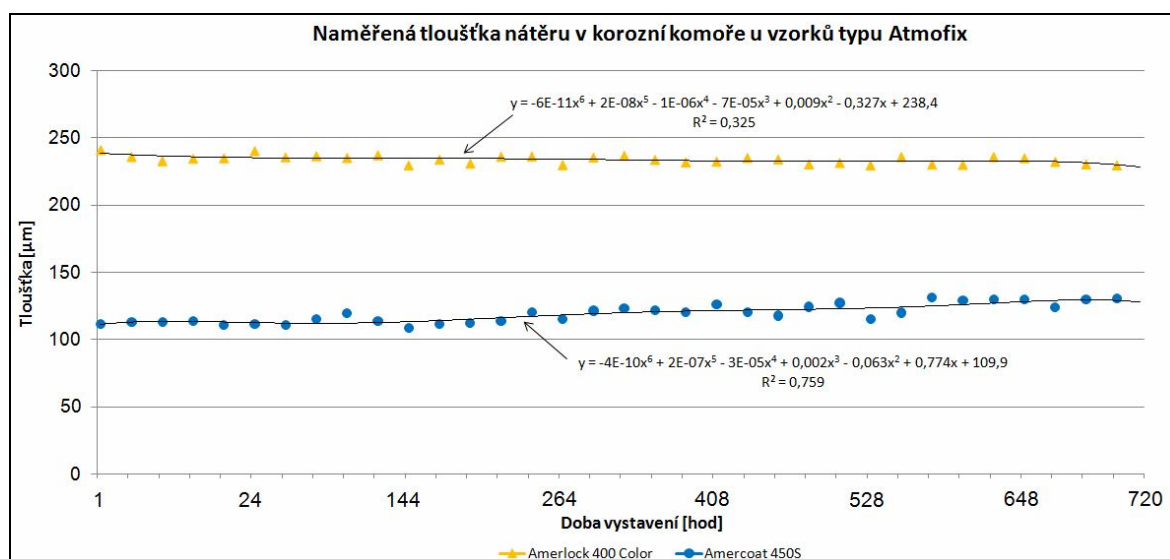
7.2.3 Hodnocení puchýřkování povrchu nátěrových systémů

Hodnocení puchýřkování povrchu se provádělo na všech typech nátěrových systémech. Pro ocel typu Atmofix jsem zvolil intervaly hodnocení 24, 72, 120, 240, 360, 528, 600 a 720 hod. Sledovala se velikost a intenzita puchýřků. Vzhled povrchu nátěrových systémů byl zaznamenán v příloze G – Obrázky vývoje vzniku puchýřků na vzorcích z korozní komory. Pro přehlednost průběhu puchýřkování se sledovala na vzorcích velikost tloušťky nátěrového systému v závislosti na době vystavení korozní

zkoušce. Pro každou dobu vystavení se provedlo 10x měření a naměřené hodnoty byly zprůměrovány a vyneseny do grafu 7.9 a 7.10.



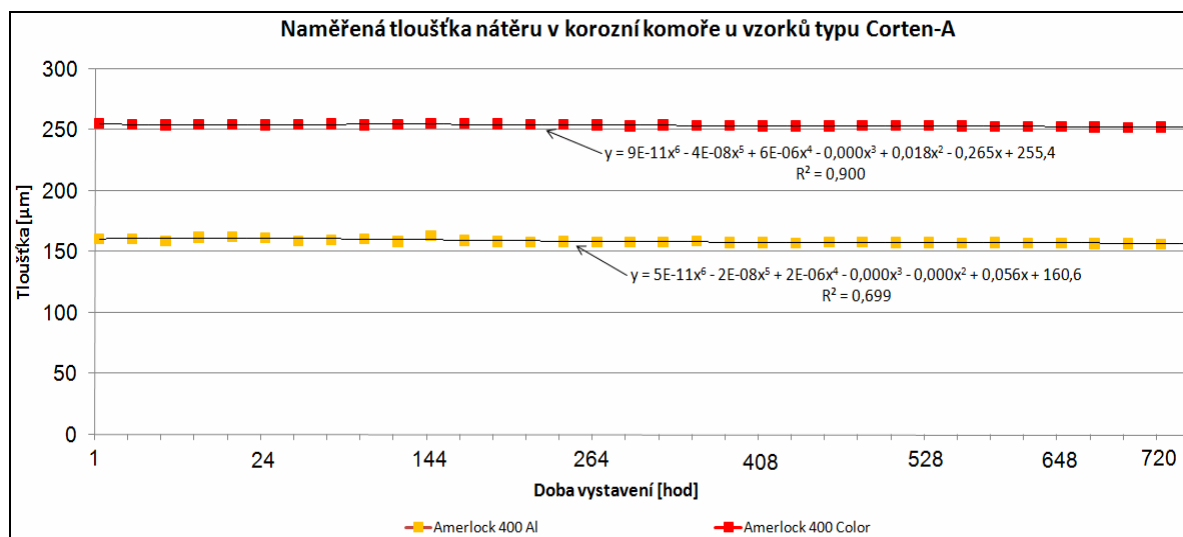
Graf 7.9 Průběh tloušťky nátěrového systému u oceli typu Atmosfix s patinou



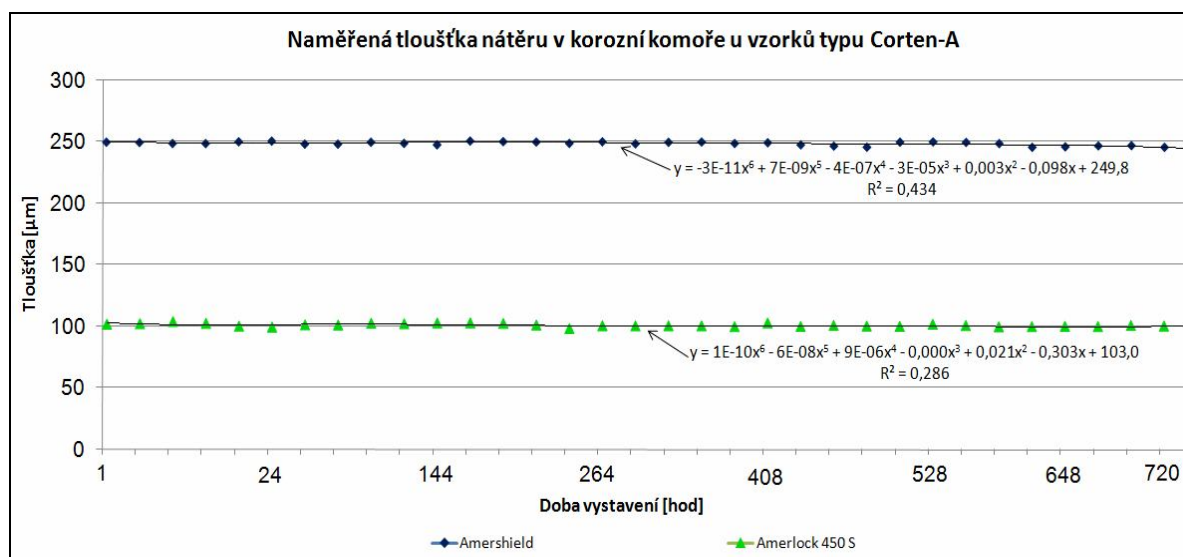
Graf 7.10 Průběh tloušťky nátěrového systému u oceli typu Atmosfix s patinou

U všech nátěrových systémů docházelo ke vzniku puchýřků. Nejvyšší stupeň puchýřkování byl zaznamenán u nátěru Amercoat 450 S, kdy se první puchýřky začaly objevovat již po 72 hod. vystavení korozní zkoušce. S dobou vystavení se velikost a intenzita puchýřků na povrchu nátěrového systému stupňovala až do hodnoty 5(S3). Podobně se choval nátěrový systém Amershield, kdy se první puchýřky objevily po 120 hod. Nejnižší stupeň puchýřkování byl zaznamenán u nátěrového systému Amerlock 400 Color. První puchýřky se objevily až po 600 hod. vystavení. Z grafů 7.5 a 7.6 je patrné, že se zvyšující se dobou vystavení vlivem puchýřkování docházelo ke zvyšování tloušťky nátěrů a to až o 25 μm.

Pro ocel typu Cor-ten A a Cor-ten B jsem zvolil intervaly hodnocení 24, 48, 120, 192, 312, 456, 600 a 720 hod. Stejně jako u předešlého hodnocení oceli typu Atmosfix se sledovala velikost, intenzita puchýřků a tloušťka nátěrového systému v závislosti na době vystavení. Vzhled povrchu nátěrových systémů byl zaznamenán v příloze G – Obrázky vývoje vzniku puchýřků na vzorcích z korozní komory. Pro každou dobu vystavení se provedlo 10x měření a naměřené hodnoty byly zprůměrovány a vyneseny do grafu 7.11, 7.12, 7.13 a 7.14.



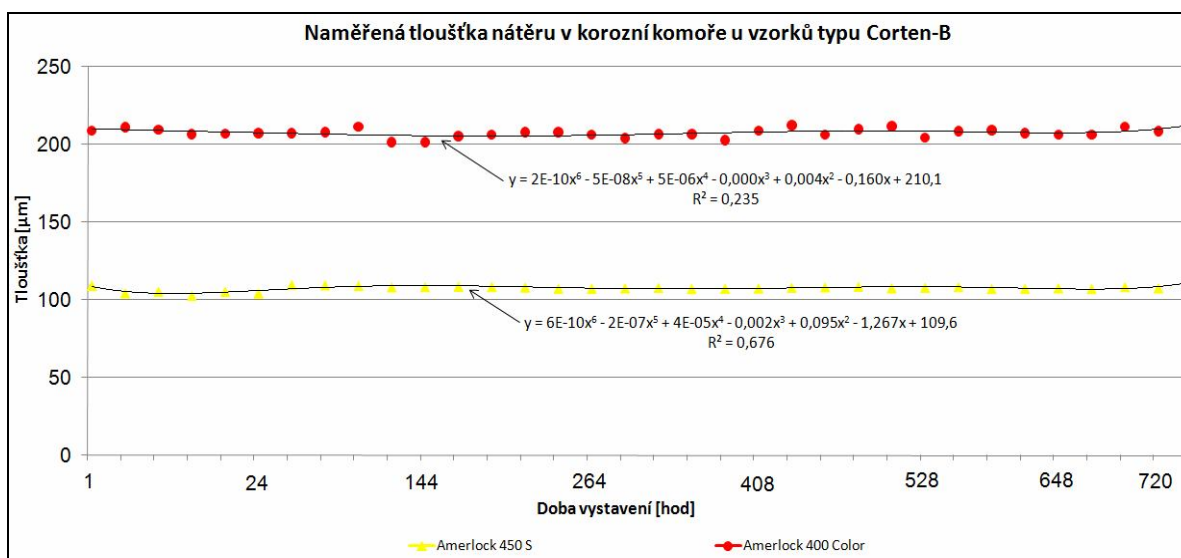
Graf 7.11 Průběh tloušťky nátěrového systému u otryskávané oceli typu Cor-ten A



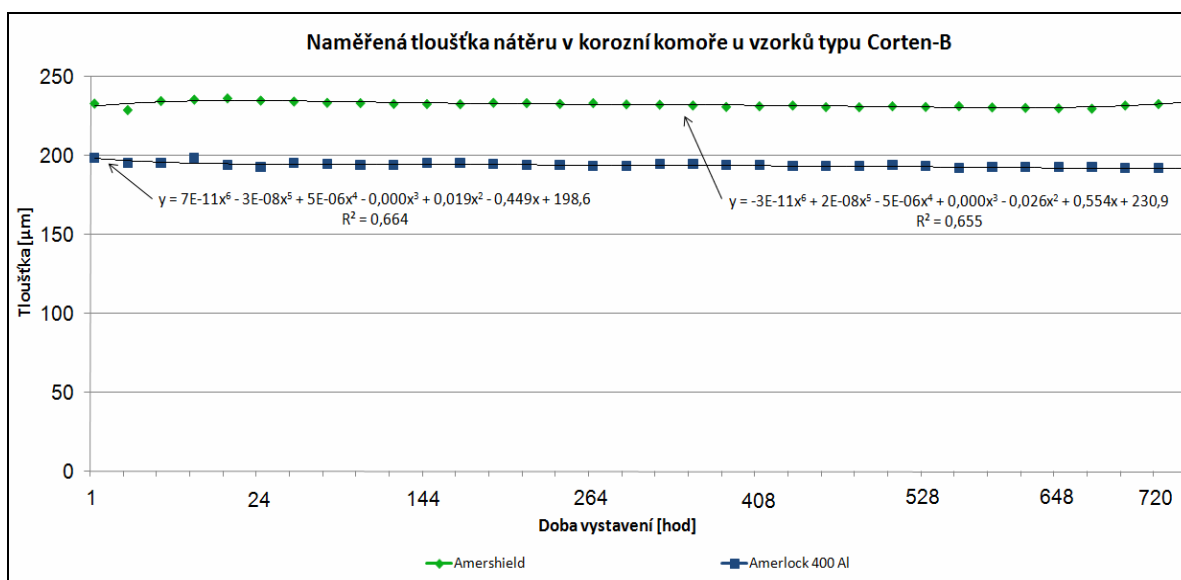
Graf 7.12 Průběh tloušťky nátěrového systému u otryskávané oceli typu Cor-ten A

Výsledkem měření bylo zjištění, že dané typy nátěrových systémů dobře přilnuly k otryskávanému povrchu a to u obou typů oceli Cor-ten. Vzorky nevykazovaly vznik puchýřků po 720 hod. Na povrchu lze pouze zaznamenat zbytky zkondenzované soli po vysušení a vady nátěru, které vznikly nanášením nátěrové hmoty na povrch vzorků.

Až na jeden vzorek CA58 (typ nátěrového systému Amercoat 450 S). Daný vzorek vykazoval vznik puchýřků okolo okraje vzorku. Nátěrové systémy nevykazovaly úbytek tloušťky a lze tedy říci, že všechny použité typy nátěrových hmot jsou vhodné.



Graf 7.13 Průběh tloušťky nátěrového systému u otryskávané oceli typu Cor-ten B



Graf 7.14 Průběh tloušťky nátěrového systému u otryskávané oceli typu Cor-ten B

7.2.4 Hodnocení zkoušky řezem

Zkouška řezem se prováděla na podkladovém materiálu typu Atmosfix. Interval hodnocení byl zvolen 0, 24, 120, 264, 354 a 450 hod. Sledovala se velikost postupu koroze a případné další vady okolo řezu. Vzhled vzniklých řezů byl zaznamenán v příloze H – obrázky zkoušky řezem u vzorků typu Atmosfix.

Vlivem vzniklého řezu došlo k delaminaci nátěrového systému se vznikem koroze. Proces nejvyššího korozního poškození byl zaznamenán na vzorcích s nátěrovým systémem Amercoat 450 S a Amerlock 400 Color. Hodnota poškození u těchto dvou nátěrových systémů byla stanovena jako 2. stupeň po 264 hod. vystavení. Okolo řezu se také vlivem vzniku vodních par vyskytovaly puchýřky o vysoké četnosti a velikosti.

7.3. Zhodnocení

Všechny vzorky, na kterých se provádělo měření, byly před natřením očištěny od nečistot. Podkladové materiály typu Cor-ten A a Cor-ten B byly otryskávány ocelovou drtí GP18. Povrch vzorků vykazoval stupeň zaprášení č. 1. Velikost částic se pohybovala do 50 μm . Vzorky typu Atmosfix byly ručně okartáčovány. Povrch vykazoval vysoký stupeň zaprášení z důvodu vzniklé patiny na povrchu materiálu.

Otryskávané vzorky ocelovou drtí GP18 vykazovaly hodnoty drsnosti u oceli typu Cor-ten A $R_a = (3,65 \pm 0,20) \mu\text{m}$, $R_z = (27,23 \pm 2,99) \mu\text{m}$, Cor-ten B $R_a = (3,74 \pm 0,20) \mu\text{m}$, $R_z = (27,07 \pm 1,33) \mu\text{m}$. Kotvící profil ocelových plechů měl ostrohranný vzhled (vrcholy a prohlubně jsou ostrého zakončení), vlivem zvoleného tryskačského média. Drsnost povrchu oceli Atmosfix byla naměřena $R_a = (7,00 \pm 0,53) \mu\text{m}$, $R_z = (44,27 \pm 6,00) \mu\text{m}$.

Na zvolených vzorcích bylo provedeno měření pomocí mřížkové zkoušky. Ze čtyř zkoušených nátěrových systémů byla nejlepší přilnavost k povrchu podkladového materiálu zaznamenána u nátěru Amercoat 450 S a Amershield. Snížená přilnavost byla pouze u podkladového materiálu Atmosfix, kde vlivem patiny docházelo k snížení přilnavosti ve fázi A (podkladového kovu – patiny). Zbylé dva nátěry Amerlock 400 Al a Amerlock 400 Color vykazovaly sníženou přilnavost u všech podkladových materiálů.

Na všech typech podkladů a nátěrů byly provedeny zkoušky odtrhových pevností. U podkladového materiálu typu Atmosfix, který byl vystavený 24 letům atmosférické koroze se odtrhové pevnosti u všech typů nátěrových systémů pohybovaly do 4 MPa. Nejvyšších odtrhových pevností v závislosti na době vystavení dosáhly nátěrové systémy Amerlock 400 Color, Amershield a Amercoat 450 S. Avšak Amercoat 450 S po 240 hod. vystavení již vykazoval nízkou pevnost v odtrhu. U všech nátěrových systémů docházelo po 480 hod. vystavení k výraznému snížení odtrhových pevností, a to především ke koheznímu lomu v podkladovém kovu (patině). Naměřené hodnoty byly částečně ovlivněny odtrhem ve fázi Y (odtrh v lepidle), avšak tento jev nastal pouze v 10 - 15% .

Podkladový materiál Cor-ten A, který byl vystavený 720 hod. korozní zkoušce v solné mlze, vykazoval vysoké odtrhové pevnosti u všech nátěrových systémů. Nejlépe si vedl nátěr Amercoat 450 S. Průměrně hodnoty odtrhových pevností byly 8 MPa. Při zkoušení docházelo k odtrhu ve fázích B a C (docházelo především ke koheznímu lomu). Po proběhnutí 720 hod. korozní zkoušky měly všechny nátěrové systémy vyšší odtrhové pevnosti než 5 MPa.

Podkladový materiál Cor-ten B vykazoval podobné výsledky jako Cor-ten A. Nejvyšší odtrhové pevnosti byly zjištěny u nátěrových systémů Amercoat 450 S, Amershield a Amerlock 400 Color. Amerlock 400 Al měl výrazně nižší odtrhovou pevnost až po 720 hod. vystavení korozní zkoušce. Docházelo u něj k zeslabení ve fázi C (druhá vrstva nátěru) s následným adhezním poškozením.

Podobně jako u zkoušky v solné mlze se odvíjely výsledky zkoušek postřikem soli. Výrazně vyšší odtrhové pevnosti dosahovaly nátěrové systémy Amershield a Amercoat 450 S. U podkladového materiálu Atmosfix odtrhy vznikaly ve fázi podkladového kovu. U Cor-ten A a Cor-ten B docházelo ke koheznímu porušení ve fázi C (druhá vrstva nátěru) a v menším měřítku ve fázi Y (lepidle).

8 ZÁVĚR

Úkolem teoretické části bylo prostudovat vlastnosti ocelí typu Atmosfix, obeznámit s chemickým složením oceli, tvorbou ochranných vrstev (patin), vhodnost jejího použití v náročném korozním prostředí a seznámit s posypovou solí a solícími roztoky používané na vozovkách ČR v zimních obdobích, které mají nemalou zásluhu na degradaci kovových materiálů v náročném průmyslovém korozním prostředí. Pro přehlednost byla v teoretické části zpracována klasifikace korozního prostředí pro určení typických představitelů těchto agresivních prostředí.

Experimentální část se zabývala přílnavostí čtyř nátěrových systémů na šedesátiosmi vzorcích. Na 26 vzorcích typu Atmosfix, které byly po dobu 24 let vystaveny v atmosférických podmínkách, bylo provedeno očištění povrchu pomocí okartáčování. Zbytek vzorku typu Cor-ten A a Cor-ten B byly otryskávány ostrohrannou drtí GP18 na stupeň čistoty Sa 2 1 a zároveň se na nich měřila prašnost a drsnost povrchu. Podkladový materiál Atmosfix vykazoval stupeň zaprášení č. 5 a Cor-ten A a Cor-ten B shodně stupeň č. 1. Drsnost materiálu Atmosfix se pohybovala do 7,53 μm , podkladové materiály Cor-ten A a Cor-ten B měly drsnost od 3,85 do 3,94 mm.

Všechny zkoušené nátěrové systémy jsou určeny pro náročná korozní průmyslová prostředí. Nicméně ne každý z těchto nátěrů obstál. Nejlépe si ze čtyř zkoušených nátěrových systémů vedly Amercoat 450 S a Amersheild. Na podkladovém materiálu Atmosfix, Cor-ten A a Cor-ten B vykazovaly nejvyšší odtrhy ze zkoušených nátěrů. Avšak z výsledků bylo patrné, že hlavní vliv na přílnavost nátěru k povrchu podkladového kovu má volba povrchové úpravy. Okartáčovaný povrch oceli Atmosfix vykazoval z 90% kohezní odtrh ve fázi A (podkladový kov - patina). Oba nátěry lze označit jako tolerantní k zaprášenosti povrchu. Nátěrový systém Amerlock 400 Color si vedl podobně dobře jako výše zmiňované nátěry. Avšak stejně jako Amerlock 400 Al si vedl špatně u velmi zaprášeného povrchu oceli Atmosfix. Nejhorších výsledků dosahoval poslední nátěrový systém Amerlock 400 Al. Tento nátěr měl výrazně nižší odtrhy a vykazoval nízkou přílnavost u všech zkoušených podkladových materiálů.

V experimentální části jsem se dále zabýval zkoušením nátěrových systémů na náchylnost ke vzniku puchýřků. Nátěry nanesené na podkladový materiál Atmosfix vykazovaly vysoký obsah puchýřků. Příčinou vzniku puchýřků byl podkladový materiál (patina), která vázala z okolního prostředí vlhkost. S dobou vystavením velikost

a intenzita puchýřků zvyšovala. Nejvyšší stupeň puchýřků byl zaznamenán u nátěru Amercoat 450 S a Amershield. Po 72 hod. vystavení se objevovaly první nerovnosti povrchu nátěrových systémů. Nejnižší stupeň puchýřkování byl zaznamenán u nátěrového systému Amerlock 400 Color. Vlivem vzniku puchýřků docházelo ke zvyšování objemu hmoty. Jako doporučení je vhodné zvolit opracování zkorodovaného povrchu otryskání povrchu na stupeň čistoty Sa 2 případně Sa 2 1 .

U podkladových materiálů typu Cor-ten A a Cor-ten B, které měly otryskaný povrch, nedošlo ke vzniku puchýřků ani po 720 hod. vystavení korozní zkoušce. Nátěrové systémy nevykazovaly úbytek tloušťky a lze tedy říci, že všechny použité typy nátěrových hmot jsou vhodné.

Podkladový materiál typu Atmosfix se hodnotil na delaminaci a korozní napadení v okolí řezu. Proces nejvyššího korozního poškození byl zaznamenán na vzorcích s nátěrovým systémem Amercoat 450 S a Amerlock 400 Color. Hodnota poškození u těchto dvou nátěrů byla stanovena jako 2. stupeň. Okolo řezu se vlivem vniku vodních par vyskytovaly puchýřky o vysoké četnosti a velikosti. Zbylé dva nátěry především Amerlock 400 Al vykazoval vysokou odolnost proti působení korozního napadení.

Vzorky vystavené zkoušce postřiku soli od prosince 2009 v areálu VŠB – TU Ostrava měly obdobný průběh výsledků zkoušek. Nejlépe si vedly nátěrové systémy Amercoat 450 S a Amershield, které vykazovaly vysoké odtrhové pevnosti. Amerlock 400 Al a Amerlock 400 Color dosahovaly spíše průměrných výsledků. Mřížková zkouška prokázala vhodnost použití nátěrových systémů Amercoat 450 S a Amershield. Amerlock 400 Al a Amerlock 400 Color měly sníženou přilnavost k povrchu.

Zjištěné a naměřené hodnoty prokázaly, vhodnost použití nátěrových systémů Amercoat 450 S a Amershield v náročném korozním prostředí. Oba nátěry dosahovaly vysokých odtrhových pevností, vyhovující přilnavosti. Tyto nátěrové systémy jsou velice tolerantní na čistotu povrchu podkladového materiálu. Lze také doporučit nátěrový systém Amerlock 400 Color, který dosahoval průměrných výsledků. Poslední a zároveň nejhorší nátěrový systém Amerlock 400 Al dosahoval nízkých odtrhových pevností a přilnavosti. Vlivem vysokého obsahu sušiny tento nátěrový systém obstál pouze ve zkoušce řezem.

Ke zkoušeným podkladovým materiálům typu Cor-ten A a Cor-ten B přilnuly nátěrové systémy dobře. Podkladový materiál Atmosfix měl z důvodu zvolené úpravy povrchu před natřením nátěrových hmot horší výsledky. Jedním z východisek zlepšení

přilnavosti je podkladový materiál očistit otryskáváním na stupeň čistoty Sa 2 případně Sa 2 1 . Po otryskávání lze předpokládat zlepšení odtrhových pevností a přilnavosti k podkladovému kovu.

Výsledky zjištěné experimentální prací nám mohou pomoci při nanášení nátěrových systémů, neboť chráněný povrch musí před nanesením splňovat určité požadavky, aby nátěrový systém neztratil životnost. Výsledky jsou pouze orientační, ale lze je použít i v praxi. Musíme však předpokládat stejné podmínky. Pro přesnější určení by bylo vhodné provést další výzkum na otryskávaném povrchu oceli Atmosfix a následně je porovnat s otryskávanou ocelí Cor-ten. Kovy jsou ve styku s agresivním prostředím denně a proto musíme kovy chránit a udržívat. Vzhledem ke změnám životního prostředí je důležité chránit povrchy kovů před korozním napadením stále lepšími povrchovými nátěry.

LITERATURA

- [1] FREMUNT, P., PODRÁBSKÝ, T.: *Konstrukční oceli*. Akademické nakladatelství CERM, s. r. o, Brno, 1996. 261 s. ISBN 80-85867-95-8
- [2] MOHYLA, M.: *Technologie povrchových úprav kovů*. Učební texty VŠB-TU Ostrava, 2006. 3. vydání. 156 s. ISBN 80-248-1217-7.
- [3] BROCK, T. GROTEKLAES, M., MISCHKE, P.: *European Rating Handbook*. Vincentz Verlag, Hannover, Germany, 2000. 410 s. ISBN 3-87870-559-X.
- [4] KNOTKOVÁ, D., KREISLOVÁ, K.: *Hodnocení vrstev patin na konstrukcích z patinujících ocelí* [online].[cit.2010-01-02]. URL: <<http://www.atmofix.cz/resources/hodvrstpatinocel.pdf>>.
- [5] KŘIVÝ, V., ROZLÍVKA, L., KREISLOVÁ, K.: *Zkušenosti a poznatky z chování dlouhodobě exponovaných mostů z patinujících ocelí v České republice* [online].[cit.2010-01-02]. URL: <<http://www.atmofix.cz/resources/dloexpmostcr2009.pdf>>.
- [6] ŠEVČÍKOVÁ, J.: *Korózna degradácia ocele Atmofix 52 B v mestskej atmosfére* [online].[cit.2010-01-02]. URL: <<http://www.atmofix.cz/resources/kordegradmest.pdf>>.
- [7] KNOTKOVÁ, D., ROZLÍVKA, L., KREISLOVÁ, K.: *Korozní chování kostrukcí z patinujících ocelí Atmofix* [online].[cit.2010-01-02]. URL: <<http://www.atmofix.cz/resources/korkonstratm.pdf>>.
- [8] KNOTKOVÁ, D., KREISLOVÁ, K., ROZLÍVKA, L.: *Využití oceli Atmofix v architektuře a stavebnictví ve vztahu ke korozním projevům* [online].[cit.2010-01-02]. URL: <<http://www.atmofix.cz/resources/atmofixarch.pdf>>.

- [9] ŽÁČEK, O., LIŠKA, M., KOVÁŘ, R., KREISLOVÁ, K.: *Vývoj nových konstrukčních patinujících ocelí* [online].[cit.2010-01-02]. URL: <<http://www.atmofix.cz/resources/vyvkonstocel2009.pdf>>.
- [10] RUST.: *PatinaFormaTM an Active Coating and a - New Weathering Technology - for weathering steel structures* [online].[cit.2010-01-02]. URL: <<http://www.atmofix.cz/resources/patinaforma.pdf>>.
- [11] *Patinující ocel* [online]. c2008, poslední aktualizace: 7.5.2010 [cit. 2010-05-07]. Dostupné z: <http://www.atmofix.cz/ocel_cz.php>
- [12] ŠÁRKA, T. *Strojírenská metrologie část 1.. Učební texty*, VŠB – TU Ostrava, 2006,112s., ISBN 80-248-0671-1
- [13] ČSN EN ISO 16 276 – 1 – *Ochrana ocelových konstrukcí proti korozi ochrannými nátěrovými systémy – Hodnocení a kritéria přijetí, adheze/koheze (odtrhová pevnost) povlaku – Část 1: Odtrhová zkouška*, Praha, ČNI, 2008
- [14] ČSN EN ISO 16276 – 2 – *Ochrana ocelových konstrukcí proti korozi ochrannými nátěrovými systémy – Hodnocení a kritéria přijetí, adheze/koheze (odtrhová pevnost) povlaku – Část 2: Mřížková zkouška a křížový řez*, Praha, ČNI, 2008
- [15] ČSN EN ISO 4628 – 2 – *Nátěrové hmoty – Hodnocení degradace nátěrů – Klasifikace množství a velikosti defektů a intenzity změn vzhledu – Část 2: Hodnocení stupně puchýřkování*, Praha, ČNI, 2004
- [16] ČSN EN ISO 4628 – 8 – *Nátěrové hmoty – Hodnocení degradace nátěrů – Klasifikace množství a velikosti defektů a intenzity změn vzhledu – Část 8: Hodnocení stupně delaminace a koroze v okolí řezu*, Praha, ČNI, 2005
- [17] ČSN EN ISO 9227 – *Korozní zkoušky v umělých atmosférách – Zkoušky solnou mlhou*, Praha, ČNI, 2007
- [18] ISO 11474 *Corrosion of metals and alloys – Corrosion tests in artificial atmosphere – Accelerated outdoor test by intermittent spraying of a salt solution (Scab test)*. International Organization for Standardization, 1995.
- [19] EN ISO 2808 – *Nátěrové hmoty – stanovení tloušťky nátěru*, Praha, ČNI, 2007
- [20] ČSN EN ISO 2409 – *Nátěrové hmoty – Mřížková zkouška*, Praha, ČNI, 2007

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha A	Stupně zaprášenosti dle ČSN ISO 8502 – 3
Příloha B	List technických údajů – Amercoat 450 S
Příloha C	List technických údajů – Amerlock 400 Al
Příloha D	List technických údajů – Amerlock 400 Color
Příloha E	List technických údajů – Amershield
Příloha F	List technických údajů – ESCO posypová sůl 5 – 0,2 mm
Příloha G	Obrázky vývoje vzniku puchýřků na vzorcích z korozní komory
Příloha H	Obrázky zkoušky řezem u vzorků typu Atmosfix